This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

ENG
QA802
D89
V.1
C.2
TIMO-
CHENKO
COLL

TIMOSHENKO COLLECTION
IN HOUSE USE ONLY

LES

ORIGINES DE LA STATIQUE

LES SOURCES DES THÉORIES PHYSIQUES.

LES ORIGINES DE LA STATIQUE

PAR

P. DUHEM
Correspondant de l'Institut de France,
Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

TOME PREMIER

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN
Libraire de S. M. le Roi de Suède et de Norvège
6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1905

Imprimerie POLLEUNIS & CEUTERICK, 60, rue Vital Decoster, Louvain.
(Ancienne rue des Orphelins, 32).

Même maison à Bruxelles, 37, rue des Ursulines.

PRÉFACE.

Le lecteur ne trouvera pas dans cet ouvrage l'ordre qu'il y eût sans doute désiré, que nous eussions assurément souhaité d'y mettre ; il s'étonnerait de voir notre exposition revenir, à plusieurs reprises, sur ses pas, s'il n'obtenait tout d'abord l'explication de ces singulières démarches.

Avant d'entreprendre l'étude des origines de la Statique, nous avions lu les écrits, peu nombreux, qui traitent de l'histoire de cette science ; il nous avait été facile de reconnaître qu'ils étaient, la plupart du temps, bien sommaires et bien peu détaillés ; mais nous n'avions aucune raison de supposer qu'ils ne fussent pas exacts, au moins dans les grandes lignes. En reprenant donc l'étude des textes qu'ils mentionnaient, nous prevoyions qu'il nous faudrait ajouter ou modifier bien des détails, mais rien ne nous laissait soupçonner que l'ensemble même de l'histoire de la Statique pût être bouleversé par nos recherches.

Ces recherches nous avaient amené, de prime abord, à quelques remarques imprévues ; elles nous avaient prouvé que l'œuvre de Léonard de Vinci, si riche en idées mécaniques nouvelles, n'était point, comme on le supposait communément, demeurée inconnue des géomètres de la Renaissance ; qu'elle avait été exploitée par maint savant du XVIe siècle, en particulier par Cardan et par Benedetti ; qu'elle avait fourni à Cardan ses vues si profondes sur la puissance motrice des machines et sur l'impossibilité du mouvement perpétuel. Mais, à partir de Léonard et de Cardan jusqu'à Descartes et à Torricelli, nous avions pu suivre le développe-

ment de la Statique sans que la marche de ce développement nous eût semblé essentiellement différente de celle qu'on lui attribuait communément.

Nous avions commencé à retracer ce développement en les pages hospitalières de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, *lorsque la lecture de Tartaglia, dont aucune histoire de la Statique ne prononce même le nom, vint inopinément nous montrer que l'œuvre déjà amorcée devait être reprise sur un plan entièrement nouveau.*

Tartaglia, en effet, bien avant Stevin et Galilée, avait déterminé la pesanteur apparente d'un corps posé sur un plan incliné ; il avait très correctement tiré cette loi du principe dont Descartes devait plus tard affirmer l'entière généralité. Mais cette belle découverte, dont aucun historien de la Mécanique ne faisait mention, n'était pas le fait de Tartaglia ; elle était, dans son œuvre, un impudent plagiat ; Ferrari le lui reprochait durement et revendiquait cette invention pour un géomètre du XIIIe siècle, pour Jordanus Nemorarius.

Deux traités avaient été publiés, au XVIe siècle, comme représentant la Statique de Jordanus ; mais ces deux traités étaient si différents, ils se contredisaient parfois si formellement, qu'ils ne pouvaient être l'œuvre d'un même auteur. Si nous voulions connaître exactement ce que la Mécanique devait à Jordanus et à ses disciples, il nous fallait recourir aux sources contemporaines, aux manuscrits.

Force nous fut donc de dépouiller tous les manuscrits relatifs à la Statique que nous avons pu découvrir à la Bibliothèque Nationale et à la Bibliothèque Mazarine. Ce dépouillement laborieux, pour lequel M. E. Bouvy, Bibliothécaire de l'Université de Bordeaux, voulut bien nous aider de ses conseils très compétents, nous a conduit à une conséquense absolument imprévue.

Non seulement le moyen âge occidental avait reçu, soit directement, soit par l'intermédiaire des Arabes, la tradi-

tion de certaines théories helléniques relatives au levier et à la balance romaine, mais encore sa propre activité intellectuelle avait engendré une Statique autonome, insoupçonnée de l'Antiquité. Dès le début du XIIIe siècle, peut-être même avant ce temps, Jordanus de Nemore avait démontré la loi du levier en partant de ce postulat : Il faut même puissance pour élever des poids différents, lorsque les poids sont en raison inverse des hauteurs qu'ils franchissent.

L'idée dont le premier germe se trouvait dans le traité de Jordanus avait grandi, suivant un développement continu, au travers des écrits des disciples de Jordanus, de Léonard de Vinci, de Cardan, de Roberval, de Descartes, de Wallis, pour atteindre sa forme achevée dans la lettre de Jean Bernoulli à Varignon, dans la Mécanique Analytique *de Lagrange, dans l'œuvre de Willard Gibbs. La Science dont nous sommes aujourd'hui si légitimement fiers dérivait, par une évolution dont il nous était donné de marquer les phases graduelles, de la Science qui naquit vers l'an 1200.*

Ce n'est point seulement par les doctrines de l'École de Jordanus que la Mécanique du moyen âge a contribué à la formation de la Mécanique moderne. Au milieu du XIVe siècle, l'un des docteurs qui honoraient le plus la brillante École nominaliste de la Sorbonne, Albert de Saxe, inaugurait une théorie du centre de gravité qui devait avoir la plus grande vogue et la plus durable influence. Impudemment plagiée au XVe siècle et au XVIe siècle par une foule de géomètres et de physiciens qui la reproduisaient sans en nommer l'auteur, cette théorie florissait encore en plein XVIIe siècle ; à qui l'ignore, plus d'une controverse scientifique, ardemment débattue à cette époque, demeure incompréhensible. De cette théorie d'Albert de Saxe est issu, par une filiation qui n'a point subi d'interruption, le principe de Statique énoncé par Torricelli.

L'étude des origines de la Statique nous a conduit ainsi à une conclusion ; au fur et à mesure que nous avons poussé

nos recherches historiques plus avant et en des directions plus variées, cette conclusion s'est imposée à notre esprit avec une force croissante ; aussi oserons-nous la formuler dans sa pleine généralité : La science mécanique et physique dont s'enorgueillissent à bon droit les temps modernes découle, par une suite ininterrompue de perfectionnements à peine sensibles, des doctrines professées au sein des écoles du moyen âge ; les prétendues révolutions intellectuelles n'ont été, le plus souvent, que des évolutions lentes et longuement préparées ; les soi-disant renaissances que des réactions fréquemment injustes et stériles ; le respect de la tradition est une condition essentielle du progrès scientifique.

Bordeaux, 21 mars 1905,

P. Duhem.

LES ORIGINES DE LA STATIQUE

CHAPITRE I

ARISTOTE ET ARCHIMÈDE

(384-322 et 287-212 av. J. C.)

De leurs recherches profondes touchant les lois de l'équilibre, les anciens nous ont laissé des monuments peu nombreux, il est vrai, mais dignes d'une éternelle admiration. De ces monuments, les plus beaux, sans contredit, sont le livre consacré par Aristote aux questions mécaniques et les traités d'Archimède.

Le nom de « Traité de Statique » serait injustement donné à l'écrit où Aristote examine diverses questions relatives aux mécanismes (Μηχανικὰ προβλήματα) ; le Stagirite, en effet, ne sépare pas la théorie de l'équilibre de la théorie du mouvement ; il n'assigne pas à la première des principes propres, autonomes, qui ne se réclament point de la seconde ; il traite d'une manière générale des mouvements qui peuvent se produire en un mécanisme ; lorsqu'aucun mouvement ne se produit, le mécanisme demeure en équilibre.

L'axiome qui donne la solution des divers problèmes mécaniques est la loi fondamentale qu'Aristote assigne au mouvement local et qui, explicite ou cachée, domine tout ce qu'il a écrit au sujet de ce mouvement. La puissance du moteur qui meut un corps est mesurée par le produit du poids du corps mû (ou de sa masse, car les deux

notions de poids et de masse sont alors indistinctes) par la vitesse du mouvement imprimé à ce corps. Une même puissance peut donc mouvoir successivement un corps lourd et un corps léger ; mais elle mouvra lentement le corps lourd et vivement le corps léger ; les vitesses des mouvements imprimées à ces deux corps seront inversement proportionnelles à leurs poids.

Cette pensée est exprimée dans maint passage ; citons seulement celui-ci (1), dont la netteté est extrême : « Quelle que soit la puissance qui produit le mouvement, ce qui est moindre et plus léger reçoit d'une même puissance plus de mouvement..... En effet, la vitesse du corps le moins lourd sera à la vitesse du corps le plus lourd comme le corps le plus lourd est au corps le moins lourd. — Ἐπεὶ γὰρ δύναμίς τις ἡ κινοῦσα, τὸ δ' ἔλαττον καὶ τὸ κουφότερον ὑπο τῆς αὐτῆς δυνάμεως πλεῖον κινηθήσεται... Τὸ γὰρ τάχος ἕξει τὸ τοῦ ἐλάττονος πρὸς τὸ τοῦ μείζονος ὡς τὸ μεῖζον σῶμα πρὸς τὸ ἔλαττον. »

Ce principe fondamental de la Dynamique péripatéticienne est, semble-t-il, la traduction fidèle et immédiate des données les plus obvies de notre quotidienne expérience. La Dynamique moderne le répute erreur grave. Mais, pour rejeter cette erreur, il a fallu à la science deux mille ans de méditations, conduites par les plus grands esprits qui se soient succédé d'Aristote à Galilée. Nous essayerons quelque jour de retracer les principales phases de ce gigantesque effort intellectuel. Mais aujourd'hui, nous nous efforcerons d'oublier ce que la Mécanique moderne nous a enseigné et de nous pénétrer des lois acceptées par la Mécanique péripatéticienne. A cette condition seulement nous pourrons comprendre la pensée des géomètres qui, de siècle en siècle, vont faire progresser la Statique.

Deux puissances seront donc regardées comme équiva-

(1) Aristote, Περὶ Οὐρανοῦ, Γ, β. Édition Didot, t. II, p. 414.

lentes si, mouvant des poids inégaux avec des vitesses inégales, elles font prendre la même valeur au produit du poids par la vitesse ; ce produit sera la mesure de la puissance.

Concevons, dès lors, un levier rectiligne qu'un point d'appui partage en deux bras inégaux, aux extrémités desquels pèsent deux masses inégales ; lorsque le levier tourne autour de son point d'appui, les deux poids se meuvent avec des vitesses différentes ; celui qui est le plus éloigné du point d'appui décrit, dans le même temps, un plus grand arc que celui qui est le plus proche du même point ; les vitesses qui animent les deux poids sont entre elles comme les longueurs des bras au bout desquels ils pèsent.

Lors donc que nous voudrons comparer les puissances de ces deux poids nous devrons, pour chacun d'eux, faire le produit du poids par la longueur du bras de levier ; celui-là l'emportera qui correspond au plus grand produit ; et si les deux produits sont égaux, les deux poids resteront en équilibre.

« Le poids qui est mû, dit Aristote (1), est au poids qui meut en raison inverse des longueurs des bras de levier ; toujours, en effet, un poids mouvra d'autant plus aisément qu'il sera plus loin du point d'appui. La cause en est celle que nous avons déjà mentionnée : la ligne qui s'écarte davantage du centre décrit un plus grand cercle. Donc, en employant une même puissance, le moteur décrira un parcours d'autant plus grand qu'il est plus éloigné du point d'appui. — *Ὁ οὖν τὸ κινούμενον βάρος πρὸς τὸ κινοῦν, τὸ μῆκος πρὸς τὸ μῆκος ἀντιπέπονθεν· αἰεὶ δ' ὅτῳ ἂν μεῖζον ἀφεστήκῃ τοῦ ὑπομοχλίου, ῥᾷον κινήσει. Αἰτία δ' ἐστὶν ἡ προλεχθεῖσα, ὅτι ἡ πλεῖον ἀπέχουσα ἐκ τοῦ κέντρου μείζονα κύκλον γράφει· ὥστ' ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος πλέον μεταστήσεται τὸ κινοῦν τὸ πλεῖον τοῦ ὑπομοχλίου ἀπέχον.* »

(1) Aristote, *Μηχανικὰ προβλήματα*, Δ. Édition Didot, t. IV, p 58.

Ces considérations, développées à propos du levier, ne sont pas une remarque particulière dont l'efficacité se borne à ce cas ; elles constituent une méthode générale ; elles renferment un principe qui s'applique à presque tous les mécanismes ; par ce principe, les géomètres pourront rendre compte des effets variés produits par ces divers engins en considérant simplement les vitesses avec lesquelles sont décrits certains arcs de cercle. « Car les propriétés de la balance (1) sont ramenées à celles du cercle ; les propriétés du levier à celles de la balance ; enfin la plupart des autres particularités offertes par les mouvements des mécaniques se ramènent aux propriétés du levier. — *Τὰ μὲν οὖν περὶ τὸν ζυγὸν γινόμενα εἰς τὸν κύκλον ἀνάγεται, τὰ δὲ περὶ τὸν μοχλὸν εἰς τὸν ζυγόν, τὰ δ' ἄλλα πάντα σχεδὸν τὰ περὶ τὰς κινήσεις τὰς μηχανικὰς εἰς τὸν μοχλόν.* »

N'eût-il formulé que cette seule pensée, Aristote mériterait d'être célébré comme le père de la Mécanique rationnelle. Cette pensée, en effet, est la graine d'où sortiront, par un développement vingt fois séculaire, les puissantes ramifications du Principe des vitesses virtuelles (2).

Aristote n'était pas géomètre ; du Principe qu'il avait posé, il ne sut pas tirer avec une entière rigueur toutes les conséquences qui s'en pouvaient déduire ; parfois, aussi, il crut pouvoir l'appliquer à des problèmes dont la complexité excédait de beaucoup les moyens par lesquels

(1) Aristote, *Μηχανικὰ προβλήματα*, A. Édition Didot, t. IV, p. 55.

(2) A une certaine époque, il fut de mode de tenir pour nulle et non avenue la science d'Aristote et de ses commentateurs ; ce préjugé suffisait à rendre incompréhensibles plusieurs des progrès intellectuels les plus importants ; ainsi dans l'aperçu historique, d'ailleurs si beau, qui ouvre la *Mécanique Analytique*, Lagrange a écrit ce qui suit, à propos du Principe des vitesses virtuelles : « Pour peu qu'on examine les conditions de l'équilibre dans le levier et dans les autres machines, il est facile de reconnaître cette loi, que le poids et la puissance sont toujours en raison inverse des espaces que l'un et l'autre peuvent parcourir en même temps ; cependant il ne paraît pas que les anciens en aient eu connaissance. Guido Ubaldi est peut-être le premier qui l'ait aperçue dans le levier et dans les poulies mobiles ou moufles ».

il les prétendait résoudre. D'ailleurs, dès le début de ses recherches, il s'était heurté à une grave difficulté ; la ligne décrite, en un mouvement du levier, par le point d'application de la puissance ou de la résistance est une circonférence de cercle ; elle ne coïncide pas avec la droite verticale selon laquelle agit cette puissance ou cette résistance. Touchant cette difficulté, Aristote avait donné quelques considérations fort obscures (1), plus propres à faire gloser les commentateurs qu'à satisfaire les géomètres.

Les géomètres aiment à voir une longue chaîne de raisonnements se dérouler dans un ordre parfait et former un lien sans défaut qui unit quelques principes très simples et très certains à des conclusions lointaines et compliquées. Aucun ouvrage n'est plus capable de satisfaire leur besoin de rigueur et de clarté que les écrits où Archimède traite de la Mécanique.

Ces écrits comprennent le *Traité de l'équilibre des plans ou de leurs centres de gravité* (Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν ἢ κέντρα βαρῶν ἐπιπέδων) et le *Traité des corps flottants* (Περὶ τῶν ὀχουμένων). Notre intention n'est point d'étudier, en cet écrit, les origines de l'Hydrostatique ; nous laisserons donc de côté le *Traité des corps flottants* pour arrêter notre attention sur l'autre Traité.

Archimède entend exclure des fondements sur lesquels il assoira sa doctrine toute proposition dont la solidité pourrait sembler douteuse ; il n'ira donc pas, à l'imitation d'Aristote, demander ses hypothèses fondamentales à la science du mouvement ; car les lois qui président aux mouvements des corps pesants semblent profondément cachées sous des apparences complexes ; l'analyse de ces phénomènes, si variés et si difficiles à observer exactement, semble peu propre à fournir des propositions qui rallient tous les suffrages. Au contraire, l'emploi quotidien d'in-

(1) Aristote, Μηχανικὰ προβλήματα, B. Édition Didot, t. IV, p. 55.

struments très simples, de la balance par exemple, nous révèle, au sujet de l'équilibre des graves, quelques règles dont la vérité et la généralité ne sauraient faire l'objet d'aucun doute. Suivant la méthode dont son maître Euclide a fait usage dans les *Éléments*, Archimède *demandera* à qui veut suivre son enseignement de lui accorder la certitude de ces quelques propositions, dont il déduira toute sa théorie.

Voici quelles sont ces *demandes* (1) d'Archimède :

1° Des graves égaux suspendus à des longueurs égales sont en équilibre.

2° Des graves égaux suspendus à des longueurs inégales ne sont point en équilibre ; et celui qui est suspendu à la plus grande longueur est porté en bas.

3° Si des graves suspendus à de certaines longueurs sont en équilibre et si l'on ajoute quelque chose à un de ces graves, ils ne sont plus en équilibre ; et celui auquel on ajoute quelque chose est porté en bas.

4° Semblablement, si l'on retranche quelque chose d'un de ces graves, ils ne sont plus en équilibre ; et celui dont on n'a rien retranché est porté en bas.

De ces postulats et de quelques autres, dont l'évidence est trop grande pour qu'il soit utile de les rapporter ici, Archimède tire, par une méthode imitée d'Euclide, une longue suite de propositions. Parmi ces propositions, citons seulement la sixième et la septième (2), qui formulent les conditions d'équilibre du levier droit ; ces propositions sont les suivantes :

Proposition VI. Des grandeurs commensurables entre elles sont en équilibre lorsqu'elles sont réciproquement proportionnelles aux longueurs auxquelles ces grandeurs sont suspendues.

Proposition VII. Des grandeurs incommensurables sont

(1) *Œuvres d'Archimède*, traduites littéralement avec un commentaire, par F. Peyrard. Paris, 1807, p. 275.
(2) *Loc. cit.*, pp. 280-282.

en équilibre lorsque ces grandeurs sont réciproquement proportionnelles aux longueurs auxquelles ces grandeurs sont suspendues.

Ces deux propositions renferment les conséquences proprement mécaniques de l'écrit d'Archimède ; les théorèmes qui les suivent et où l'illustre Syracusain détermine les centres de gravité de diverses aires sont dignes des méditations du géomètre, qui en admire l'élégance et l'ingéniosité, et de l'algébriste, qui y découvre les premières intégrations qui aient été faites ; mais ils n'offrent au mécanicien aucun nouvel éclaircissement sur les questions qui le préoccupent.

Archimède est donc parvenu, en étudiant l'équilibre des graves, au même point qu'Aristote ; mais il y est parvenu par une voie entièrement différente. Il n'a pas tiré ses principes des lois générales du mouvement ; il a fait reposer l'édifice de sa théorie sur quelques lois simples et certaines relatives à l'équilibre. Il a ainsi fait de la science de l'équilibre une science autonome, qui ne doit rien aux autres branches de la Physique ; il a constitué la *Statique*.

Par là, il a assuré à sa doctrine une parfaite clarté et une extrême rigueur ; mais, il faut bien le reconnaître, cette clarté et cette rigueur ont été achetées aux dépens de la généralité et de la fécondité. Les lois qui régissent l'équilibre de deux graves suspendus aux bras d'un levier ont été tirées d'hypothèses spéciales à ce problème ; lorsque le mécanicien aura à traiter un autre problème d'équilibre, distinct de celui-là, il lui faudra invoquer de nouvelles hypothèses, hétérogènes aux premières, et l'analyse des premières hypothèses ne lui donnera aucune indication qui le puisse guider dans le choix des secondes. Ainsi, lorsqu'Archimède voudra étudier l'équilibre des corps flottants, il devra recourir à des principes sans analogie avec les *demandes* qu'il a formulées au début du Traité Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν.

Admirable méthode de démonstration, la voie suivie par Archimède en Mécanique n'est pas une méthode d'invention ; la certitude et la clarté de ses principes tiennent, en grande partie, à ce qu'ils sont cueillis, pour ainsi dire, à la surface des phénomènes et non pas déracinés du fond même des choses ; selon une parole que Descartes (1) applique moins justement à Galilée, Archimède « explique fort bien *quod ita sit*, mais non pas *cur ita sit* » ; aussi verrons-nous les progrès les plus marquants de la Statique sortir bien plutôt de la doctrine d'Aristote que des théories d'Archimède.

(1) Descartes, *Lettre à Mersenne* du 13 novembre 1638 (*Œuvres de Descartes*, publiées par Ch. Adam et P. Tannery, t. II, p. 433).

CHAPITRE II

LÉONARD DE VINCI

(1451-1519)

Les commentaires des Scolastiques touchant les Μηχανικὰ προβλήματα d'Aristote n'ajoutèrent rien d'essentiel aux idées du Stagirite ; pour voir ces idées pousser de nouveaux surgeons et donner de nouveaux fruits, il nous faut attendre le début du XVIe siècle.

« Si, à l'aspect de ces hommes placés comme des colosses à l'entrée du XVIe siècle (1), on osait témoigner une préférence, peut-être la palme serait accordée à Léonard de Vinci, génie sublime qui agrandit le cercle de toutes les connaissances humaines. Dans les arts, Michel-Ange et Raphaël ne purent éclipser sa gloire ; ses découvertes scientifiques, ses recherches philosophiques le placent à la tête des savants de son époque. La musique, la science militaire, la mécanique, l'hydraulique, l'astronomie, la géométrie, la physique, l'histoire naturelle, l'anatomie, furent perfectionnées par lui. Si tous ses manuscrits existaient encore, ils formeraient l'encyclopédie la plus originale, la plus vaste, qu'ait jamais créée une intelligence humaine. »

De son vivant, Léonard de Vinci n'a rien publié. Divers témoignages nous assurent qu'en mourant il laissait en manuscrits certains traités achevés, notamment un traité de peinture et un traité de perspective ; mais ces ouvrages ne nous sont point parvenus. Le *Trattato della pittura*, publié à Paris par Dufresne en 1651 et souvent réédité depuis, le *Trattato del moto e misura dell' acqua*, imprimé

(1) Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, depuis la Renaissance des Lettres jusqu'à la fin du XVIIe siècle. Paris, 1840, t. III, p. 11.

à Bologne en 1828, ne sont que des rapsodies plus ou moins fidèles. La véritable pensée de Léonard doit être cherchée dans les carnets où il notait ses pensées à peine écloses.

De ces carnets, beaucoup ont été perdus ; après bien des péripéties, plusieurs ont été sauvés (1). Une importante collection de ces écrits se trouve à la Bibliothèque de l'Institut de France ; divers feuillets, dérobés par Libri et vendus par lui à Lord Ashburnam, sont devenus, grâce à M. Léopold Delisle, la propriété de la Bibliothèque nationale ; d'autres manuscrits se trouvent en Italie ; parmi ceux-ci, une place de choix doit être réservée au registre que la Bibliothèque Ambrosienne de Milan garde sous le nom de *Codex Atlanticus*.

Sous les auspices du ministère de l'Instruction publique et grâce aux soins minutieux de M. Ch. Ravaisson-Mollien, tous les manuscrits de Léonard de Vinci existant en France ont été publiés. Cette admirable collection donne, en six volumes in-folio (2), le *fac-simile* photographique de chacun des feuillets noircis par Léonard, la transcription des phrases qui y sont tracées et leur traduction en français.

Le gouvernement italien a entrepris de publier, sous une forme encore plus luxueuse, tous les papiers de Léonard que possède l'Italie ; de cette collection un premier volume a paru (3).

(1) On trouvera l'histoire détaillée de ces manuscrits en tête du premier volume de la belle publication de M. Charles Ravaisson-Mollien : *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*. Paris, A. Quantin, 1881.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien. Paris, A. Quantin, t. I (1881) : Ms. A. de la Bibliothèque de l'Institut ; t. II (1883) : Ms. B de la Bibliothèque de l'Institut ; t. III (1888) : Mss. C, E et K de la Bibliothèque de l'Institut ; t. IV (1889) : Mss. F et I de la Bibliothèque de l'Institut ; t. V (1890) : Mss. G, L et M de la Bibliothèque de l'Institut ; t. VI (1891) : Ms. H de la Bibliothèque de l'Institut et Mss. n° 2037 et n° 2038 italiens de la Bibliothèque nationale (Acq. 8070, Libri).

(3) *I Manoscritti di Leonardo da Vinci. Codice sul volo degli uccelli e varie oltre materie.* Publicato da Teodoro Sabachnikoff. Trascrizioni e note di Giovanni Piumati. Traduzione in lingua francese di Carlo Ravaisson-Mollien. Parigi, Edoardo Rouveyre, editore, MDCCCXCIII.

On ne saurait se défendre d'une curiosité émue en feuilletant ces notes laissées par Léonard de Vinci ; toutes les pensées, toutes les images qui se sont présentées à l'esprit du grand artiste se retrouvent là, témoignant, par leur diversité et leur désordre même, du génie universel qui les a conçues.

Des dessins innombrables, à la plume ou à la sanguine, représentant des figures d'hommes ou d'animaux, des feuillages, des églises, des machines, des plans de monuments ou de forteresses, des vagues ou des ressauts de cours d'eau, des croquis géométriques, s'enchevêtrent avec les lignes serrées d'une écriture droite, régulière, tracée de droite à gauche.

La variété est extrême des sujets auxquels se rapportent ces lignes. Comptes domestiques, recettes de peintre, souvenirs personnels, anecdotes au gros sel gaulois, pièces de vers, voisinent avec des réflexions profondes sur les arts et les sciences ; ces réflexions elles-mêmes tantôt se suivent en pages nombreuses, régulières et ordonnées, ébauche déjà presque achevée d'un traité de peinture, d'un traité d'hydraulique, d'un traité de perspective ; tantôt elles consistent en courtes phrases dont les ratures, les redites, les contradictions, les inachèvements révèlent le labeur intense du penseur à la recherche de la vérité.

Parmi ces fragments plus ou moins achevés, il en est un grand nombre qui concernent les diverses branches de la Mécanique, science que Léonard cultivait avec passion. « La mechanica, disait-il (1), e il paradiso delle scientie matematiche percheche con quella si viene al frutto matematicho. »

Or, en 1797, Venturi (2) signala l'extrême importance

(1) « La Mécanique est le paradis des sciences mathématiques, car c'est par elle que ces sciences atteignent le fruit mathématique » (*Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 8, verso. Paris, 1888).

(2) Venturi, *Essai sur les ouvrages de Léonard de Vinci*. Paris, 1797.

de plusieurs de ces fragments. De leur lecture découlait cette conclusion que Léonard de Vinci, mort le 2 mai 1519, était déjà en possession de quelques-unes des grandes vérités dont on attribuait l'invention à Galilée ou à ses prédécesseurs immédiats ; de ce nombre était le célèbre Principe des vitesses virtuelles (1), devenu, depuis Lagrange, le fondement de toute la Mécanique.

Plus tard, Libri (2), par des extraits plus étendus, compléta et confirma la découverte de Venturi. Aujourd'hui qu'il nous est possible de connaître en détail une grande partie des manuscrits laissés par Léonard de Vinci, nous devons saluer en lui celui qui, poussant nos connaissances en Statique et en Dynamique au delà du point où les avaient amenées Aristote et Archimède, a déterminé la renaissance de la Mécanique.

Celui que Félix Ravaisson (3) a pu justement nommer « le grand initiateur de la pensée moderne » est, en Statique, un fidèle disciple d'Aristote ; ses pensées les plus neuves ont leur source dans la méditation des *Questions mécaniques* posées par le Stagirite.

Il admet, tout d'abord, la loi qui sert de fondement à la Statique péripatéticienne ; il l'énonce avec une grande précision (4) :

« *Première :* Si une puissance meut une corps quelque temps et quelque espace, la même puissance mouvra la moitié de ce corps dans le même temps deux fois cet espace. »

« *Deuxième :* Ou bien la même vertu mouvra la moitié de ce corps, en tout cet espace, en la moitié de ce temps. »

« *Troisième :* Et la moitié de cette vertu mouvra la

(1) Venturi, *loc. cit.*, pp. 17 et 18.

(2) *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, depuis la Renaissance des lettres jusqu'à la fin du XVIIe siècle, t. III, pp. 10-60. Paris, 1840.

(3) Félix Ravaisson, *La Philosophie en France au XIXe siècle*, p. 5 *Recueil de Rapports sur les progrès des lettres et des sciences*, 1868).

(4) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Charles Ravaisson-Mollien ; Ms. F de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 26, recto. Paris, 1889.

moitié de ce corps, en tout cet espace, pendant le même temps. »

« *Quatrième :* Et cette vertu mouvra deux fois ce mobile, en tout cet espace, en deux fois ce temps, et mille fois ce mobile, en mille pareils temps, en tout cet espace. »

« *Cinquième :* Et la moitié de cette vertu mouvra tout ce corps, en la moitié de cet espace, en tout ce temps, et cent fois ce corps, dans le centième de cet espace, dans le même temps. »

« *Septième :* Et si deux vertus séparées meuvent deux mobiles séparés en tant de temps et tant d'espace, les mêmes vertus unies mouvront les mêmes corps unis en tout cet espace et tout ce temps, parce que les premières proportions restent toujours les mêmes. »

Cette loi paraît si essentielle à Léonard de Vinci, qu'il la formule de nouveau un peu plus loin (1) :

« *Première :* Si une puissance meut un corps en quelque espace, en quelque temps, la même puissance mouvra la moitié de ce corps dans le même temps deux fois cet espace. »

« *Seconde :* Si quelque vertu meut quelque mobile, en quelque espace, en un temps égal, la même vertu mouvra la moitié de ce mobile en tout cet espace dans la moitié de ce temps. »

« *Troisième :* Si une vertu meut un corps en quelque temps en un certain espace, la même vertu mouvra la moitié de ce corps, dans le même temps, la moitié de cet espace.... »

« *Sixième :* Si deux vertus séparées meuvent deux mobiles séparés, les mêmes vertus unies mouvront, dans le même temps, les deux mobiles réunis, le même espace, parce qu'il reste toujours la même proportion. »

Toutefois, à cet énoncé, Léonard apporte maintenant

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. F de la Bibliothèque de l'Institut, folio 51, verso. Paris, 1880.

une correction ; une très petite force n'imprime pas à un mobile très massif un mouvement très petit ; elle ne l'ébranle pas du tout. Ce résultat de nos quotidiennes expériences, tous les mécaniciens de l'antiquité et du moyen âge l'admettaient, sans l'analyser, comme une loi première de l'équilibre et du mouvement ; de là, la nécessité de compléter les énoncés précédents par les propositions que voici :

« *Quatrième :* Si une vertu meut un corps quelque temps, en quelque espace, il n'est pas nécessaire qu'une telle puissance meuve un double poids, en un double temps, deux fois cet espace ; parce qu'il se pourrait faire qu'une telle vertu ne pût pas mouvoir ce mobile. »

« *Cinquième :* Si une vertu meut un corps tant de temps, en tant d'espace, il n'est pas nécessaire que la moitié de cette vertu meuve ce même mobile dans le même temps la moitié d'un tel espace, car peut-être il ne le pourrait pas mouvoir. »

Ces restrictions annoncent l'impossibilité de certains mouvements auxquels ne répugnerait pas l'axiome d'Aristote ; elles font prévoir certains équilibres qui ne découlent pas de la Statique péripatéticienne. Nous en verrons la portée lorsque nous exposerons les idées de Léonard de Vinci touchant le mouvement perpétuel. Pour le moment, bornons-nous aux conséquences qui se tirent de l'antique Principe.

Parmi ces conséquences, il convient de citer au premier rang celle qu'Aristote avait déjà obtenue, la loi d'équilibre de la balance ou du levier ; Léonard de Vinci la formule à son tour (1) : « Cette proportion qu'aura la longueur du levier avec son contre-levier, tu la trouveras de même dans la qualité de leurs poids et, semblablement, dans la lenteur du mouvement et dans la qualité du chemin par-

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 45, recto. Paris, 1881.

couru par leurs extrémités, quand ils seront parvenus à la hauteur permanente de leur pôle ». Ou bien encore (1) : « Il s'ajoute autant de poids accidentel au moteur placé à l'extrémité du levier que le mobile placé à l'extrémité du contre-levier l'excède en poids naturel ».

« Et le mouvement du moteur est plus grand que celui du mobile d'autant que le poids accidentel de ce moteur excède son poids naturel. »

Ce ne sont point là, d'ailleurs, des remarques particu-

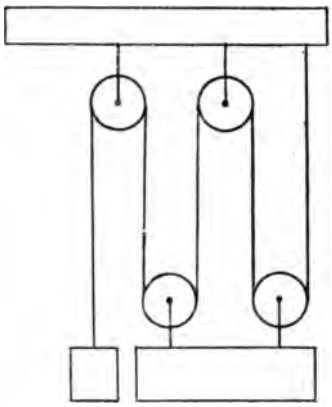

fig. 1.

lières au levier ; dans les machines les plus compliquées, l'axiome d'Aristote permet toujours de comparer la puissance du moteur à la résistance de la chose mue :

« Plus une force (2) s'étend de roue en roue, de levier en levier ou de vis en vis, plus elle est puissante et lente. »

« Si deux forces sont produites par un même mouvement et par une même force, celle qui consommera le

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 38, verso. Paris, 1888.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 33, verso ; en titre : *De la disposition de la force pour bien tirer et pousser*. Paris, 1881.

plus de temps aura plus de puissance qu'aucune autre. Et une force sera plus faible qu'une autre d'autant que le temps de l'une entre dans celui de l'autre. »

Ces principes rendent compte très aisément des propriétés des moufles ; Léonard de Vinci expose avec la plus grande exactitude les propriétés de ces mécanismes. Voici, par exemple, une figure tracée par lui (*fig. 1*), qu'accompagnent ces réflexions (1) :

« Les puissances que les cordes interposées entre les poulies reçoivent de leur moteur sont entre elles dans la même proportion que celle qu'il y a entre les vitesses de leurs mouvements. »

« Des mouvements faits par les cordes sur leurs poulies, le mouvement de la dernière corde est dans la même proportion avec la première qu'est celle du nombre des cordes ; c'est-à-dire que si elles sont 5, la première corde se mouvant d'une brasse, la dernière se meut d'un cinquième de brasse ; et si elles sont 6, cette dernière corde aura un mouvement d'un sixième de brasse, ainsi de suite à l'infini. »

« La proportion qu'a le mouvement du moteur des poulies avec le mouvement du poids élevé par les poulies sera telle qu'a le poids élevé par ces poulies avec le poids du moteur. »

Supposons que l'on possède une cause de mouvement bien déterminée : par exemple, une quantité d'eau, immobile dans un réservoir, attendant qu'on la laisse tomber, d'une hauteur donnée, dans un bief inférieur. Cette cause de mouvement possède une puissance mécanique déterminée ; nous pourrons diversifier l'emploi de cette puissance, mais nous n'en pourrons accroître la grandeur ; nous pourrons lui faire surmonter des résistances de plus en plus grandes, mais à la condition qu'elle les déplace de plus en plus lentement :

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 20, recto. Paris, 1883.

« Si une roue (1) est mue à un moment par une quantité d'eau et que cette eau ne se puisse augmenter ni par courant, ni par quantité, ni par une plus grande chute, l'office de cette roue est terminé. C'est-à-dire que si une roue meut une machine, il est impossible que sans y employer une fois plus de temps, elle en meuve deux ; donc qu'elle fasse autant de besogne en une heure que deux machines avec une seconde heure ; ainsi la même roue peut faire tourner un nombre infini de machines ; mais, avec un très long temps, elles ne feront pas plus de besogne que la première en une heure. »

Un poids donné, tombant d'une hauteur donnée, produit donc un effet mécanique dont la grandeur est indépendante des circonstances qui accompagnent cette chute ; cette grandeur demeure la même, que la chute s'accomplisse en une fois ou qu'elle soit fractionnée :

« Si quelqu'un descend (2) de marche en marche en faisant de l'une à l'autre un saut, et que tu additionnes toutes les puissances des percussions et poids de tels sauts, tu trouveras qu'elles sont égales à la totalité de la percussion et du poids que donnerait un tel homme tombant, par ligne perpendiculaire, de la tête au pied du dit escalier. »

Les passages que nous venons de citer renferment l'énoncé d'un principe qui est, pour l'art de l'ingénieur, d'une importance capitale ; mais ce principe n'est, en dernière analyse, que l'aboutissant logique de l'axiome posé par Aristote. Non content de faire porter des fruits aux semences déposées par la Mécanique péripatéticienne, Léonard de Vinci aborde et résout une difficulté qui avait fait hésiter le Stagirite.

L'extrémité d'un levier qui s'appuie sur un axe horizontal décrit une circonférence de cercle placée dans un plan

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 30, recto. Paris, 1881.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch Ravaisson-Mollien ; Ms. I de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 14, verso. Paris, 1889.

vertical ; le chemin parcouru par cette extrémité n'est donc pas dirigé comme le poids de la charge à soulever, poids qui tire suivant une droite verticale. Il en résulte que la résistance qu'il faut surmonter pour faire tourner d'un certain angle le bras de levier dépend de la position initiale de ce bras de levier ; elle est d'autant plus grande que le levier est plus voisin de la position horizontale.

Suivant quelle loi varie la puissance ou la résistance d'une charge donnée, lorsqu'on incline le levier à l'extrémité duquel elle agit ? A cette question, Léonard de Vinci répond en ces termes (1) :

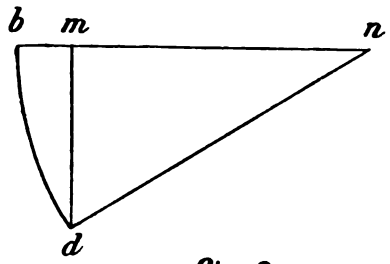

fig. 2.

« Telle est la proportion qu'a l'espace *mn* (*fig. 2*) avec l'espace *nb*, telle est celle qu'a le poids descendu en *d* avec le poids que ce *d* avait dans la position *b*. »

Ainsi, le grave pendu à l'extrémité d'un bras de levier incliné a même action que s'il pendait à l'extrémité d'un certain bras de levier horizontal ; celui-ci s'obtient en projetant le point d'appui sur la ligne verticale suivant laquelle le poids exerce sa traction. Ce bras de levier horizontal, Léonard le nomme le *bras de levier potentiel*.

« Toujours (2) la jonction des appendices des balances avec les bras de ces balances est un rectangle potentiel, et ne peut être réel si ces bras sont obliques (3).

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 72, verso. Paris, 1883.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 64, recto. Paris, 1888.

(3) Le texte dit, par erreur, *ne sont pas obliques*.

« Toujours les bras réels de la balance sont plus longs que les bras potentiels, et d'autant plus qu'ils sont plus voisins du centre du monde (1).

« Et jamais (2) les bras réels de la balance n'auront en soi les bras potentiels (*fig. 3*) s'ils ne sont pas dans la position d'égalité. »

A l'extrémité d'un levier, on peut faire agir une force dont la direction soit différente de la verticale ; il suffira

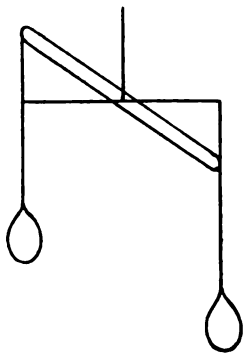

fig. 3.

d'employer une corde tendue selon cette direction, passant sur une poulie et tirée ensuite par un poids. Une règle semblable à la précédente permettra d'évaluer la puissance motrice d'un semblable engin ; voici comment Léonard énonce (3) cette règle :

« *Pour savoir à chaque degré de mouvement la qualité de la force de la puissance qui meut et de même de la chose mue* ».

« Fais donc comme tu vois (*fig. 4*) en *mn* (c'est-à-dire que de l'arrêt de la chose mue, on imagine une ligne qui coupe à angle droit la ligne de la puissance qui meut) *mn* avec *fh*. »

(1) C'est-à-dire *plus voisins de la verticale*.
(2) *Léonard de Vinci, ibid.*, fol. 65, verso.
(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. I de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 30, recto. Paris, 1889.

Cette ligne *mn*, analogue au *bras de levier potentiel* considéré il y a un instant, Léonard la nomme *vrai terme* de la balance, ou encore *bras spirituel*.

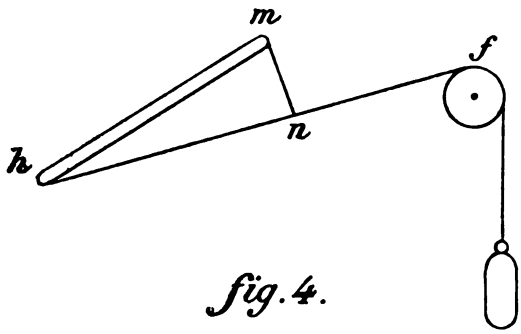

fig. 4.

« Celui-là est dit (1) vrai terme de la balance, lequel joignant sa ligne droite avec la rectitude de la corde tirée par le poids, cette jonction sera faite composant l'angle

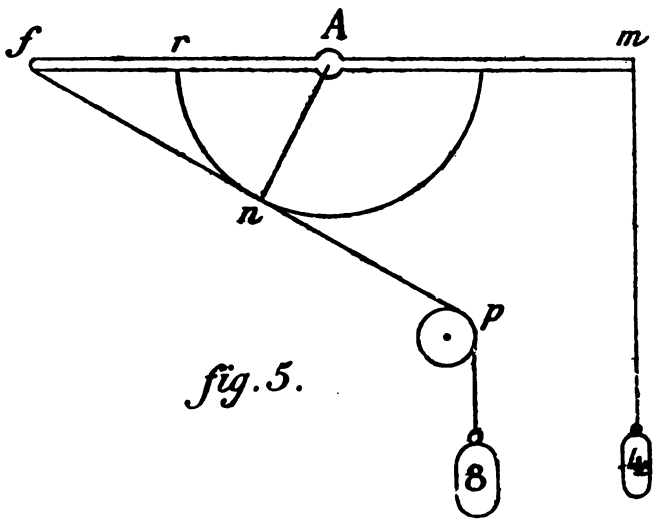

fig. 5.

droit, comme on voit (*fig. 5*) en *s* avec *ma* et de même *pn* avec *n*A, bras spirituel. »

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. M de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 40, recto. Paris, 1890.

Lors donc qu'une force sollicite un corps mobile autour d'un axe perpendiculaire à cette force — un *circonvolubile*, selon le mot qu'emploie Léonard de Vinci — il importe peu, pour en évaluer l'effet mécanique, de rechercher le point d'application de cette force ; deux éléments seulement sont à considérer : l'intensité de la force et la plus courte distance de l'axe du circonvolubile à la direction de la force.

« Il y a toujours (1) une même puissance et résistance

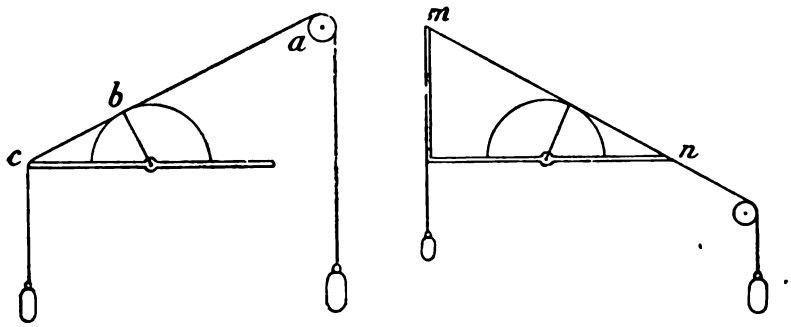

fig. 6.

en quelque lieu qu'on ait attaché la corde sur la ligne *abc* (*fig. 6*) et de même en-dessus sur la ligne *mn*. »

« En quelque partie que soit liée la corde *nc* (*fig. 7*) de la partie *ac*, cela ne fait pas de différence, parce que toujours on emploie une ligne qui tombe perpendiculairement du centre de la balance à la ligne de la corde, c'est-à-dire à la ligne *mf*. »

Ces divers passages montrent que Léonard de Vinci avait conçu de la manière la plus nette la notion de *moment d'une force par rapport à un axe*, du moins dans le cas où la force est située dans un plan perpendiculaire à l'axe ; qu'il savait formuler, pour un solide mobile autour

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. M de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 50, recto et verso. Paris, 1890.

d'un axe et soumis à de semblables forces, la condition d'équilibre.

Il ne paraît pas qu'entre cette théorie des moments et l'axiome d'Aristote, il ait cherché à établir aucun lien. Un tel lien existe cependant ; la notion de moment apparaît de suite si l'on prend pour mesure de la puissance motrice qu'exerce une charge pendue à l'extrémité d'un bras de levier oblique, non pas le produit de cette charge par la vitesse avec laquelle tourne l'extrémité du levier, mais le produit de cette charge par la vitesse avec laquelle

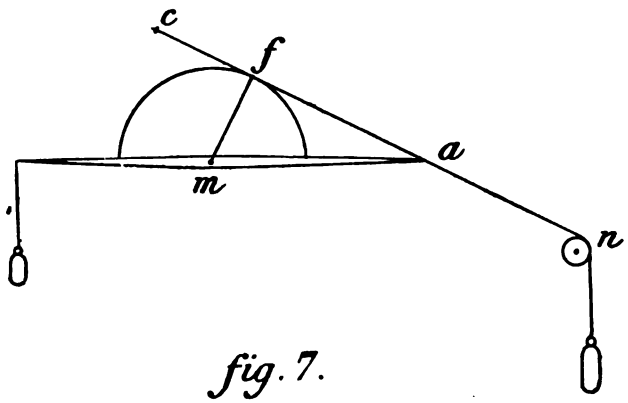

fig. 7.

elle s'abaisse. Cette modification à l'énoncé de l'axiome d'Aristote s'accorderait pleinement, d'ailleurs, avec l'idée, émise par Léonard dans un passage que nous avons cité, de prendre la hauteur de chute d'un poids pour mesure de l'effet mécanique produit. Mais pour apercevoir ce lien entre l'axiome d'Aristote et la notion de moment, il faut faire appel à la définition de la vitesse instantanée du mouvement de la charge ; or, cette notion, qui devait jouer un si grand rôle dans le développement de l'analyse infinitésimale, était encore bien confuse dans l'esprit de Léonard et de ses contemporains.

S'il est un problème mécanique qui se soit souvent présenté aux méditations du grand peintre, c'est assuré-

ment l'étude du poids d'un grave qui glisse sur un plan incliné ; on ne peut feuilleter ses manuscrits sans rencontrer à chaque instant, avec de menues variantes, un même dessin : sur une poulie, une corde est tendue par deux poids qui glissent sur deux plans inégalement inclinés.

La recherche des lois qui président à l'équilibre d'un tel mécanisme a certainement sollicité les efforts incessants de Léonard ; d'emblée, il a reconnu qu'un poids glissant sur un plan incliné tire sur la corde qui le soutient moins fort que s'il descendait en chute libre et d'autant moins fort que le plan est moins incliné ; mais ce renseignement qualitatif ne saurait satisfaire le géomètre, qui exige une relation quantitative.

Pour obtenir cette relation, Léonard de Vinci multiplie et varie les tentatives ; en voici une qui, par des considérations quelque peu étranges, lui donne un résultat qui approche de la vérité.

Il se propose de comparer les vitesses avec lesquelles une même sphère tombe sur des plans diversement inclinés. Il remarque que lorsque la sphère est en équilibre sur le plan horizontal, le centre de cette sphère est sur la verticale du point par où elle touche le plan ; la distance du centre de gravité à cette verticale croît avec l'inclinaison du plan et, en même temps, croît la vitesse avec laquelle la sphère, livrée à elle-même, descend ce plan. Il suppose, dès lors, qu'il y a proportionnalité entre la vitesse de la descente et la distance du centre de gravité à la verticale du point d'appui ; de là, il tire sans peine cette conclusion : la vitesse avec laquelle une sphère tombe sur un plan incliné est à sa vitesse en chute libre dans le même rapport que la hauteur de chute à la longueur de la ligne de plus grande pente décrite par le mobile. D'ailleurs, pour Léonard de Vinci comme pour Aristote, l'intensité d'une action mécanique est proportionnelle à la vitesse qu'elle communique à un mobile

donné ; le rapport précédent est donc égal au rapport du poids de la sphère descendant le plan incliné à son poids en chute libre.

Voici le passage (1) où est résumée cette curieuse solution :

« Le corps sphérique et pesant prendra un mouvement plus rapide d'autant que son contact avec le lieu où il court sera plus éloigné de la perpendiculaire de sa ligne centrale. Autant *ab* (*fig. 8*) est moins long que *ac*, autant la balle tombera plus lentement par la ligne *ac*, et d'autant plus lentement que la partie *o* est plus petite

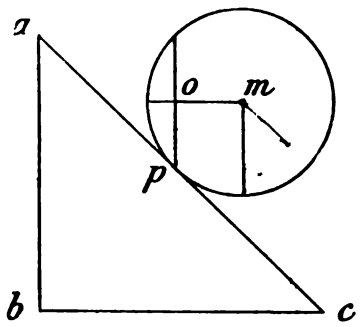

fig. 8.

que la partie *m*, parce que *p* étant le pôle de la balle, la partie *m* étant au-dessus de *p* tomberait avec un mouvement plus rapide, s'il n'y avait pas ce peu de résistance que lui fait en contre-poids la partie *o* ; et s'il n'y avait pas le dit contre-poids, la balle descendrait par la ligne *ac* d'autant plus vite que *o* entre en *m*, c'est-à-dire que si la partie *o* entre dans la partie *m* cent fois, la partie *o* manquant toujours dans la rotation de la balle, elle descendrait plus vite du centième du temps ordinaire sur *n* et la ligne centrale ; et *p* est le pôle où la balle

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 52, recto. Paris, 1881.

touche son plan, et plus il y a d'espace entre *n* et *p*, plus sa course est rapide. »

Léonard ne pouvait se déclarer satisfait d'une telle méthode ; il tenta donc d'aborder par une voie plus rationnelle le problème du plan incliné.

Il reconnut que le poids qui sollicite le mobile vers le centre du monde pouvait être décomposé en deux forces, l'une normale au plan incliné sur lequel glisse le grave, l'autre tangente à ce plan ; c'est cette dernière qui entraîne le mobile :

« *Le grave uniforme qui descend obliquement*, dit-il (1),

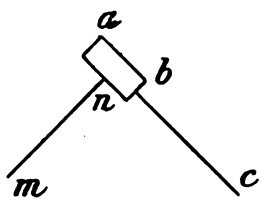

fig. 9.

divise son poids en deux aspects différents. On le prouve. Soit *ab* (*fig. 9*) mobile selon l'obliquité *abc ;* je dis que le poids du grave *a b* partage sa gravité en deux aspects, c'est-à-dire selon la ligne *b c* et selon la ligne *n m ;* pourquoi et combien le poids est plus grand pour l'un que pour l'autre aspect et quelle obliquité est celle qui partage les deux poids en égale partie, sera dit dans le livre *Des poids*. »

Cette décomposition devra être employée en des circonstances variées. Si, par exemple, un poids, pendu par une corde à l'extrémité d'un bras de levier, oscille à la manière d'un pendule, il ne pèsera à chaque instant sur le

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 75, recto. Paris, 1890. Cf. *Ibid.*, fol. 76, verso.

levier que par la composante verticale de son poids ; il paraîtra donc d'autant moins lourd que la corde à laquelle il est suspendu sera plus éloignée de la verticale (1).

De même, un grave soutenu par deux cordes divergentes partage son poids entre ces deux cordes.

Suivant quelle règle se fait la décomposition d'un poids en deux directions différentes ? Il ne paraît pas que Léonard ait soupçonné la règle du parallélogramme des forces dont dépend la solution du problème posé ; à plusieurs reprises, il énonce une solution erronée. Voici un passage (2) où cette solution erronée est très explicitement formulée :

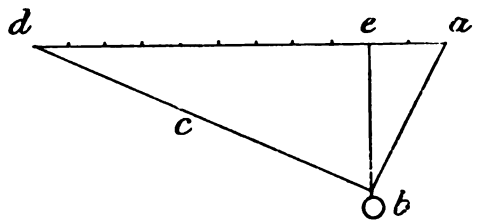

fig. 10.

« Le poids qui se suspend dans l'angle donnera de soi des poids aux côtés de cet angle qui seront entre eux dans la même proportion qu'est celle de l'obliquité de leurs côtés. Ou : un tel poids se distribuera entre ses supports dans la même proportion qu'est celle des deux angles nés de la division de l'angle où se soutient ce poids, division d'angle qui se fait par la droite qui descend dans le centre du grave suspendu ; ainsi l'angle *abd* (*fig. 10*) étant coupé par la ligne *eb* et l'angle *ebd* étant les $\frac{9}{11}$ de

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 76, verso ; fol. 77, recto. Paris, 1890.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 6, recto. Paris. 1888.

l'angle *abc*, l'angle *abe* est les $\frac{2}{11}$; *ab* sont les $\frac{9}{11}$ du poids et *db* les $\frac{2}{11}$. »

Cette règle pour décomposer un poids selon deux directions se trouve répétée en un autre passage (1) :

« Si l'angle créé par le concours fait par deux cordes obliques qui descendent à la suspension d'un grave est partagé par la ligne centrale du grave, alors cet angle est partagé en deux parties entre lesquelles il y aura la même proportion qu'est celle en laquelle ledit grave se partage entre les deux cordes. »

La figure jointe à cet énoncé nous montre qu'en ce passage comme au précédent, Léonard prend pour rapport des deux angles partiels qu'il considère le rapport des longueurs qu'ils interceptent sur une même horizontale ; en d'autres termes, le rapport des *tangentes trigonométriques* de ces angles.

Parfois (2), d'ailleurs, une règle analogue lui semble définir les rapports de deux poids soutenus par deux plans inégalement inclinés et tirant les deux extrémités d'une corde qui s'enroule sur une poulie ; il pense que ces poids doivent être en raison inverse des obliquités de ces plans, et il prend pour rapport de ces obliquités le rapport des tangentes des angles faits avec l'horizon.

Léonard s'en est-il constamment tenu à cette règle inexacte sur la décomposition des forces ? Il est probable qu'il ne s'en est pas contenté ; que son esprit, toujours en travail, a cherché mieux, et il semble qu'il ait, sur ce point, entrevu la vérité ; c'est, du moins, ce que nous croyons pouvoir conclure d'une note (3), sommaire et inachevée, que nous allons analyser.

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. G. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 39, verso. Paris, 1890.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 1, verso. Paris, 1888.

(3) *I Manoscritti di Leonardo da Vinci. Codice sul volo degli uccelli e varie altre materie.* Publicato da Teodoro Sabachnikoff. Transcrizioni

Sur une poulie, mobile autour de l'axe *d (fig. 11)*, s'enroule une corde *pmonq* que tendent les deux poids *p* et *q* ; ceux-ci glissent sur deux plans inégalement inclinés *da*, *dc* ; les deux brins *mp*, *nq* de la corde sont tendus de telle sorte qu'ils soient respectivement parallèles aux plans *da*, *dc*. De plus, la figure est faite de telle sorte que la projection *de* du rayon *dn* sur l'horizontale *hf* soit les deux tiers du rayon de la poulie, tandis que la projection *dg* de *dm* sur l'horizontale *hf* vaut un tiers du

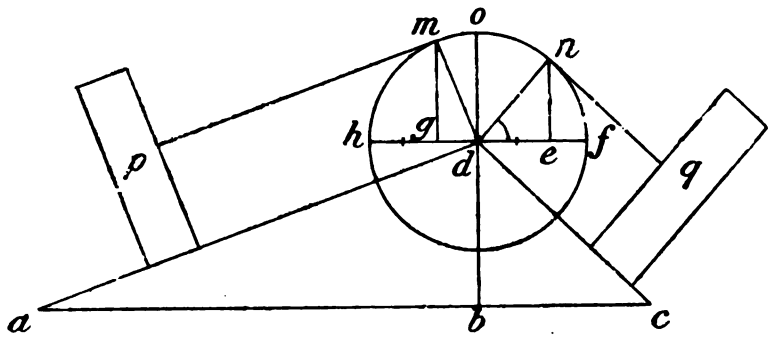

fig. 11.

même rayon. Il s'agit d'évaluer la composante du poids *q* suivant *nq* ou *dc* et la composante du poids *p* suivant *mp* ou *da* ; voici, au sujet de cette évaluation, ce qu'écrit Léonard :

« Le poids *q*, à cause de l'angle droit *n*, au-dessus de *df*, pèse les deux tiers de son poids naturel qui était trois livres, qui reste en puissance de deux livres ; et le poids *p* qui, lui aussi, était trois livres, reste en puissance d'une livre, à cause de *m* rectangle au-dessus de la ligne *hd*, au point *g* ; donc nous avons ici deux livres contre une livre ».

e note di Giovanni Piumati. Traduzione in lingua francese di Carlo Ravaisson-Mollien. Parigi, Edoardo Rouveyre, editore, MDCCCXCIII, fol. 4, recto.

Quel principe dicte à Léonard de Vinci cette affirmation exacte? Il est difficile de le déclarer avec une entière certitude. Toutefois, les lignes que nous venons de citer nous semblent indiquer que la règle à laquelle il est fait appel, d'une manière plus ou moins consciente, est non point la règle du parallélogramme des forces, mais bien cette proposition, qui lui est équivalente : le moment d'une résultante de deux forces est égal à la somme des moments des composantes.

Léonard était-il donc parvenu à la connaissance de cet important théorème? Dans ceux de ses manuscrits qui ont été publiés, nous n'en avons relevé aucune trace autre que celle qui vient d'être relatée. Les manuscrits encore inédits, ceux, en particulier, qui composent le célèbre *Codex Atlanticus*, renferment-ils des passages capables de confirmer cette opinion? Il est permis de l'espérer et, partant, de souhaiter la prompte publication de ces précieuses reliques.

CHAPITRE III

JÉRÔME CARDAN

(1501-1576)

Lorsque, en 1797, Venturi eut annoncé que l'on retrouvait, dans les manuscrits de Léonard de Vinci, quelques-unes des lois essentielles de la Mécanique moderne, la surprise de plusieurs géomètres dut se mêler d'un regret. Sur certains points, le grand peintre avait devancé Galilée d'un siècle. S'il avait pu, de son vivant, publier le *Traité du mouvement* et le *Traité des poids* qu'il préparait ; si du moins, à défaut de cette publication, les fragments qu'il laissait avaient pu être connus aussitôt après sa mort, quelle impulsion aurait reçue l'étude de la Mécanique ! Galilée, Simon Stevin, Descartes, eussent, au début de leurs travaux, trouvé cette science plus avancée d'un stade sur le chemin du progrès ; par un effort égal à celui qu'ils ont donné, ils eussent pu la mener plus loin qu'ils ne l'ont réellement conduite ; tout le développement des sciences positives en eût été hâté. Ainsi l'oubli, à jamais déplorable, dans lequel sont demeurées, pendant des siècles, les pensées de Léonard de Vinci touchant les principes de la Mécanique a imposé à la marche de l'esprit humain un irrémédiable retard.

Ce retard ne s'est pas produit. Dès le milieu du XVIe siècle, les idées les plus essentielles de Léonard de Vinci touchant la Statique et la Dynamique furent connues de ceux qui s'intéressaient à ces sciences ; dans le pillage auquel furent livrées les notes manuscrites du grand artiste, les géomètres et les mécaniciens firent un ample butin ; sans révéler au public la source de leurs richesses, ils les étalèrent dans leurs écrits ; heureux larcin, qui accrut, il est vrai, d'une façon imméritée la gloire de cer-

tains auteurs, mais qui, du moins, exhuma et remit en circulation une partie des trésors amassés par Léonard !

Parmi ceux qui s'emparèrent, pour les ordonner, les commenter et les développer, des pensées de Léonard de Vinci, il convient de citer en première ligne Jérôme Cardan ; il ne fut pas seul, d'autres le précédèrent ou l'imitèrent ; c'est ainsi, pour ne donner qu'un exemple, que nous retrouvons l'influence de Léonard dans les écrits de Jean-Baptiste Benedetti ; mais Cardan fut des premiers à publier les résultats les plus essentiels qu'eût obtenus le grand peintre en méditant sur la Mécanique ; sa grande notoriété, l'ample diffusion de ses ouvrages, les firent connaître partout ; c'est par les écrits de Cardan que les idées de Léonard parvinrent à Galilée, à Képler, à Simon Stevin et qu'elles exercèrent, sur le développement de la Mécanique, une puissante et bienfaisante influence.

L'opinion que nous venons d'émettre a, pour l'histoire de la Mécanique, de graves conséquences (1). Elle nous montre dans les écrits de Léonard et de Cardan le canal par où la Mécanique péripatéticienne, après avoir longtemps dormi dans le bassin où l'enfermaient les commentateurs scolastiques, s'est répandue dans la science moderne pour la féconder. Si cette opinion est exacte, elle est appelée à jeter un grand jour sur l'évolution qui a dépouillé de leur écorce archaïque les germes contenus dans la science de l'École et leur a fait produire la science du XVIIe siècle. Il importe donc de l'étayer de solides arguments.

Que les manuscrits de Léonard de Vinci aient été, au milieu du XVIe siècle, en butte à un véritable pillage, c'est un fait malheureusement trop certain ; on connaît la

(1) M. E. Wohlwill a émis d'une manière tout à fait incidente, et sans y insister, l'opinion que Tartaglia et Cardan avaient pu subir, d'une manière directe ou indirecte, l'influence de Léonard de Vinci. — Voir : E. Wohlwill, *Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes* (ZEITSCHRIFT FÜR VÖLKERPSYCHOLOGIE UND SPRACHWISSENSCHAFT, Bd. XIV, p. 386, en note ; 1883).

négligence avec laquelle s'acquittèrent de leur mission ceux qui avaient la garde de ce précieux dépôt : « Non seulement les ouvrages rédigés par le grand peintre ont péri, dit Libri (1), mais on a perdu aussi la plupart des livres où il écrivait ses notes. Après sa mort, tous ses manuscrits, ses dessins et ses instruments devinrent la propriété de François Melzi, son élève, à qui il les avait légués. Melzi, qui n'était qu'un amateur, plaça ce précieux héritage dans sa maison de Vaprio près de Milan ; ses descendants n'en tinrent aucun compte et un certain Lelio Gavardi, parent d'Alde Manuce le jeune, et précepteur dans cette famille, ayant remarqué qu'on laissait perdre cette belle collection, déroba treize de ces manuscrits, et les porta en Toscane pour les vendre au grand-duc François Ier ; mais ce prince venait de mourir, et ils furent déposés à Pise chez Alde, qui les montra à son ami Mazenta. Celui-ci désapprouva fortement la conduite de Gavardi qui, honteux de sa mauvaise action, le chargea de rapporter à Milan et de restituer ces manuscrits aux Melzi. Horace, alors chef de cette famille, ignorant la valeur de ces treize volumes, en fit cadeau à Mazenta et lui dit qu'on avait oublié dans un coin de sa maison de Vaprio beaucoup d'autres dessins et manuscrits de Léonard. Plusieurs amateurs obtinrent ensuite les dessins, les instruments, les préparations anatomiques, enfin tout ce qui restait du cabinet de Léonard. Pompée Leoni, sculpteur au service de Philippe II, fut des mieux partagés... »

Ainsi, dans le trésor amassé par le génie de Léonard, chacun fouillait à sa guise et prenait ce qui lui plaisait. Les traités étaient retenus par ceux qui y prenaient intérêt, ou circulaient de main en main jusqu'à ce qu'ils fussent égarés. Nous savons par Pacioli (2) que Léonard avait complètement achevé la rédaction de son *Traité de*

(1) Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, tome III, p. 33. Paris, 1840.

(2) Pacioli, *Divina proportione*, fol. 1. Venetiis, 1509.

peinture ; Vasari, dans ses *Vies des meilleurs peintres, sculpteurs et architectes* (1), raconte avoir vu ce traité autographe entre les mains d'un peintre milanais, qui voulait le faire imprimer à Rome. Léonard avait également achevé la rédaction d'un *Traité de perspective ;* Cellini, dans l'ouvrage qu'il publia à Florence, en 1568, sur le même sujet, dit à plusieurs reprises qu'il avait en mains ce Traité, qu'il l'avait prêté à Sarlio, et que celui-ci en avait tiré ce qu'il y a de mieux dans son ouvrage.

De ces Traités de Léonard, des copies, des extraits plus ou moins fidèles, circulaient en Italie et hors de l'Italie ; c'est d'après une telle copie, envoyée par Del Pozzo, que Du Fresne, en 1651, fit imprimer à Paris le *Traité de la Peinture*. Une autre copie, plus complète, conservée à la Bibliothèque Vaticane, permit à Manzi d'en donner, en 1817, une édition moins appauvrie.

Les peintres et les dessinateurs savaient quel profit ils pourraient tirer du pillage des manuscrits de Léonard ; les mécaniciens n'étaient guère moins avertis. Au XVIe siècle, les machines qu'il avait inventées étaient encore en usage et gardaient le nom de leur auteur (2). Ceux donc qui s'intéressaient à la théorie de l'équilibre et du mouvement étaient assurés de découvrir un riche butin d'idées neuves dans la collection que l'incurie des Melzi livrait aux déprédations.

A Milan, non loin de la maison de Vaprio qui gardait si mal ce trésor, vit Jérôme Cardan. Jérôme Cardan est un de ces esprits universels que produisait l'Italie, merveilleusement féconde, du XVe et du XVIe siècle ; comme Léonard de Vinci avant lui, comme Galilée après lui, il semble apte à comprendre toutes les sciences et à les perfectionner toutes. Médecin de grand renom, il s'adonne à l'algèbre et fait faire à la théorie des équations des pro-

(1) Vasari, *Vite...*, t VII, p. 57. Fiorenza, 1550.

(2) Lomazzo, *Trattato della pittura*, p. 652. Milano, 1585. — *Idea del tempio della pittura*, p. 17 et p. 106. Milano, 1590.

grès considérables. Il unit, d'ailleurs, en de prodigieuses inconséquences, les idées les plus audacieuses et les superstitions les plus puériles. L'astrologie et la divination des songes ne l'occupent guère moins que la saine physique et la rigoureuse arithmétique.

Son respect de la richesse intellectuelle d'autrui ne va pas jusqu'au scrupule ; il ne rougit pas de grossir le bagage de ses propres découvertes en y glissant quelques emprunts faits à la science de ses contemporains. Un exemple en fait foi.

Excité par une question d'Antoine Fiore, qui tenait de Ferro de Bologne une méthode pour résoudre une équation du troisième degré, Tartaglia (1) parvint à résoudre toutes les équations de cet ordre. Sa découverte, qu'il cachait soigneusement, afin de pouvoir porter de sûrs défis à ses émules — comme un bretteur garde une botte secrète — finit néanmoins par transpirer. Cardan s'y intéressa vivement. A plusieurs reprises, il sollicita et fit solliciter Tartaglia pour qu'il lui communiquât sa méthode. Après avoir essuyé plusieurs refus, il obtint une pièce de vers où était expliqué le moyen d'avoir une racine de toute équation du troisième degré. Pour obtenir ce renseignement, il n'avait pas hésité à engager sa foi de chrétien et sa parole de gentilhomme que jamais il ne publierait la méthode dont il demandait à Tartaglia la révélation : « Io vi giuro, lui écrivait-il, *ad sacra Dei evangelia*, et da real gentil'huomo, non solamente di non publicar giammai tale vostra inventione, se me le insignate... » Quand il connut la solution si ardemment souhaitée, il s'empressa de la publier dans son *Ars Magna*. Tartaglia se plaignit vivement du parjure grâce auquel sa découverte paraissait pour la première fois dans le livre d'autrui. « Il avait raison de se plaindre, dit Libri, car la

(1) Voir, à ce sujet, Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, t. III, pp. 148 et suiv. Paris, 1840.

postérité s'est obstinée à appeler du nom de Cardan la formule qui donne la résolution des équations du troisième degré. » Cardan, cependant, avait reconnu la priorité de Tartaglia, ainsi que de ses prédécesseurs Scipion Ferro et Antoine Fiore ; de Ferro, Tartaglia ne cita pas même le nom, lorsqu'à son tour il publia sa solution. Les géomètres du XVIe siècle avaient l'amour-propre irritable lorsqu'on s'emparait de leurs propres découvertes, mais la conscience large lorsqu'ils empruntaient les découvertes d'autrui.

On imaginerait difficilement que Cardan, si avide de connaître la trouvaille de Tartaglia et si prompt, malgré ses serments, à en orner son livre d'Algèbre, n'eût pas éprouvé la curiosité de connaître les pensées de Léonard de Vinci sur la Mécanique et la Physique et, les ayant connues, qu'il eût résisté à la tentation d'en glaner quelques-unes pour nourrir ses propres méditations. Il n'y résista pas.

En 1551, Cardan publiait ses vingt et un livres *sur la Subtilité* (1) ; une seconde édition (2) latine de cet ouvrage, plus complète que la première, paraissait dès 1554 et, en 1556, était traduite en français par Richard le Blanc (3) ; les éditions françaises ou latines de cet ouvrage se succédaient, nombreuses, pendant la seconde moitié du XVIe siècle (4). A cet écrit, Cardan joignit plus tard son

(1) Hieronymi Cardani medici Mediolanensis, *De Subtilitate libri XXI.* Ad illustrissimum Principem Ferrandum Gonzagam, Mediolanensis provinciae praefectum. Lugduni, apud Guglielmum Rouillium, sub Scuto Veneto, in-8°, 1551.

(2) Je ne connais cette édition que par la mention qui en est faite par Cardan dans l'*Apologie* insérée, en 1550, à la fin de l'édition de Bâle.

(3) Les livres de Hierome Cardanus, médecin milanois, intitulés *de la Subtilité et subtiles inventions*, ensemble les causes occultes et raisons d'icelles, traduis de latin en françois par Richard le Blanc ; à Paris, chez Charles l'Angelier, tenant sa boutique au premier pillier de la grand'salle du Palais ; 1556, in-4°.

(4) En 1557, la première édition du *De Subtilitate* avait été vivement prise à partie dans : Julii Caesaris Scaligeri exotericarum exercitationum Liber XV ; *De Subtilitate ad Cardanum*, Lutetiae, apud Vascosanum,

Opus novum de proportionibus (1). Toute la Mécanique contenue en ces deux ouvrages porte, encore reconnaissable, la marque de Léonard.

Entre la Statique de Léonard et la Statique de Cardan, la concordance est incessante ; la seconde n'est guère qu'une rédaction mieux ordonnée de la première ; mais il serait oiseux de nous appesantir sur cette concordance ; la lecture des pages qui vont suivre la fera clairement apparaître.

Comme on le verra au Chapitre IV, Léonard de Vinci et Cardan ne s'accordent pas moins exactement en ce qui touche l'impossibilité du mouvement perpétuel.

L'harmonie entre eux est parfaite au sujet des principes de la Dynamique ; et elle est d'autant plus significative que leurs opinions sur diverses questions de Dynamique ont une forme très particulière que l'on ne trouve guère chez leurs prédécesseurs ou leurs contemporains.

Nous espérons qu'il nous sera donné, quelque jour, de

1557, in-4°. — Aux critiques de Jules César Scaliger, Cardan riposta, en 1560, dans l'Apologie qui termine l'édition suivante : Hieronymi Cardani, Mediolanensis medici, *De Subtilitate libri XXI*, ab authore plus quam mille locis illustrati, nonnulli etiam cum additionibus. Addita insuper Apologia adversus calumniatorem, qua vis horum librorum aperitur. Basileae, ex officina Petrina, Anno MDLX, Mense Martio, in-8°. — Outre les éditions que nous venons de citer, nous avons trouvé à Bordeaux, à la Bibliothèque Municipale et à la Bibliothèque Universitaire : 1° deux autres éditions latines du *De Subtilitate* de Cardan : Norimbergae, apud Petreium, 1560 (in-fol.) et Lugduni, apud Stephanum Michel, 1580 (in-8°) ; 2° trois autres éditions des *Livres de la Subtilité* traduits en français par Richard le Blanc : Paris, Lenoir, 1556 (in-4°); Paris, Lenoir, 1566 (in-8°) et Paris, Cavellat, 1578 (in-8°) ; 3° trois autres éditions des *Exercitationes* de Scaliger : Francofurti, apud Claudium Marnium et haeredes Joannis Aubrii, 1607 (in-8°) ; Francofurti, apud A. Wechelum, 1612 (in-8°) ; Lugduni, apud A. de Harsy, 1615 (in-8°). Cette seule énumération fait éclater aux yeux la vogue extraordinaire dont a joui l'ouvrage de Cardan.

(1) Hieronymi Cardani Mediolanensis, civisque Bononiensis, philosophi, medici et mathematici clarissimi, *Opus novum de proportionibus* numerorum, motuum, ponderum, sonorum aliarumque rerum mensurandarum, non solum geometrico more stabilitum, sed etiam variis experimentis et observationibus rerum in natura, solerti demonstratione illustratum, ad multiplices usus accommodatum, et in V libros digestum..... Basileae, ex officina Henricpetrina, Anno Salutis MDLXX, Mense Martio.

retracer les origines de la Dynamique, comme nous retraçons aujourd'hui les origines de la Statique ; ce sera le lieu d'analyser en détail la Dynamique de Léonard de Vinci et de Cardan et l'influence qu'elle a eue sur le développement de la Mécanique rationnelle. Nous verrons alors la doctrine du médecin milanais s'inspirer jusque dans les moindres détails des pensées éparses dans les manuscrits du grand peintre.

Les emprunts faits par Cardan à la Physique de Léonard de Vinci sont moins nombreux, non pas que l'on n'en puisse reconnaître quelques-uns : ainsi Cardan, voulant expliquer comment on peut allumer du feu au foyer d'un miroir concave, dit (1) : « Le feu qui est engendré des miroirs caves ou élevés en rotondité claire, appartient manifestement à la coïtion. Et la raison de coïtion n'est obscure, car si tu distribues dix deniers à dix hommes, chacun aura un denier ; si tu les distribues à cinq, chacun aura deux deniers. Si donc la chaleur qui est éparsée en grand espace est assemblée, tout ce qui était de chaleur en ce grand espace sera au petit ; pourtant ceste grande chaleur assemblément contenue en ce petit espace produira de grans effects, dont méritera estre dite grande, et pour ce le feu sera engendré. » — Or Léonard de Vinci avait écrit (2) : « *De la qualité du chaud produit par les rayons du soleil dans le miroir*. Le chaud du soleil qui se trouvera à la surface du miroir concave sera réparti entre les rayons pyramidaux concourants à un seul point ; autant de fois ce point entrera dans la surface, autant de fois il sera plus chaud que le chaud qui se trouve sur le miroir ; aussi autant *ab* ou, si tu veux, *cd* (3), entre dans

(1) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc. Paris, l'Angelier, 1556, p. 52.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 20, recto. Paris, 1881.

(3) Il faut entendre par *cd* la surface de l'image lumineuse formée dans le plan focal du miroir.

le miroir, autant de fois sa chaleur sera plus puissante que celle du miroir. » Il avait encore écrit ailleurs ce passage (1) : « *Une même vertu est d'autant plus puissante qu'elle occupe une plus petite place.* Ceci s'entend pour la chaleur, pour la percussion, pour le poids, pour la force et pour beaucoup d'autres choses. »

« Nous parlerons d'abord de la chaleur du soleil, qui s'imprime dans le miroir concave et en est réfléchi en figure pyramidale, pyramide qui acquiert proportionnellement d'autant plus de puissance qu'elle se resserre plus. C'est à dire que si la pyramide frappe l'objet avec moitié de sa longueur, elle resserre la moitié de son épaisseur dans le bas ; et si elle frappe aux 99 centièmes de sa longueur, elle se resserre des 99 centièmes de sa base et croît des 99 centièmes de la chaleur que reçoit la base de la dite chaleur du soleil ou du feu. »

On peut rapprocher également, quoique d'une manière moins intime, la réponse donnée par Cardan (2) à cette question : « Comment sont causées les couleurs de l'arc céleste dit *Iris* » avec ce que Léonard a écrit de l'arc-en-ciel (3).

Mais, en une foule d'occasions, Cardan n'hésite pas à s'écarter de son illustre devancier ; au sujet des marées, de la scintillation des étoiles, de la suspension des nuages dans l'atmosphère, il adopte des solutions distinctes de celles qu'avait proposées Léonard ; sa théorie de la chaleur, du feu et de la force élastique des gaz est bien à lui ; et c'est peut-être la partie la plus remarquable des livres *De la Subtilité.*

Cardan ne fut donc pas un vulgaire plagiaire ; il sut

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 89, verso. Paris, 1890.

(2) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc. Paris, l'Angelier, 1556, p. 83.

(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. F de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 67, verso. Paris, 1889.

extraire le suc des pensées semées par Léonard, l'assimiler, le transformer et nourrir à son tour la science du XVIe siècle d'idées qui, faute de son heureuse indiscrétion, fussent demeurées, inutiles et inconnues, ensevelies dans la maison des Melzi.

Dans le domaine même de la Mécanique, où ses emprunts à Léonard ont été particulièrement nombreux, il a su, nous l'allons voir, mettre l'empreinte de son originalité à côté du sceau du génie qu'avait imprimé son devancier.

Cardan ne dédaignait point d'exercer son talent de géomètre en des démonstrations construites à la manière d'Archimède et de combler certaines lacunes que l'illustre Syracusain avait laissées béantes. Ainsi Archimède avait toujours négligé le poids du levier ou du fléau de balance auxquels il suspendait les graves dont il étudiait l'équilibre; Cardan se proposa de déterminer les propriétés mécaniques d'un fléau de balance horizontal, homogène, suspendu par un quelconque de ses points. C'est l'objet de l'article intitulé, dans le *De Subtilitate* (1), « *Staterae ratio* » et que son traducteur Richard Le Blanc désigne en ces termes : « La manière de la livre vulgairement dite à Paris un traîneau, de quoi coustumièrement usent les tisserans, en latin *Statera* (2). »

Cardan fait reposer son analyse sur deux propositions prises pour axiomes. Il admet, en premier lieu, qu'un segment AB' (*fig. 12*), égal au petit bras AB du fléau et pris sur le grand bras, fait équilibre au petit bras AB; il admet, en second lieu, que le reste B'C du grand bras pèse comme un poids égal pendu au milieu M de B'C : « Si la livre [fléau] est estimée sans pois et, de la partie qui est la différence des longitudes depuis la chasse, un pois égal soit estendu par toute la verge, il aura égale pesanteur

(1) Cardan, *De Subtilitate*, Livre I, 1re édition, p. 31.
(2) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc. Paris, l'Angelier, 1556, p. 17.

avec le mesme pois pendu au point distant de l'aiguille de la livre par le milieu de toute la verge. »

Ces principes donnent aisément la solution du problème posé. Ce problème, Cardan le traite derechef dans l'*Opus Novum* (1) et il parvient à cette proposition : Les pesanteurs (moments) des deux bras AB, AC du fléau sont entre elles comme les carrés des longueurs de ces deux bras.

Cardan, d'ailleurs, ne dissimule pas sa satisfaction d'avoir obtenu une telle solution : « Hoc est, dit-il (2), quod Archimedes reliquit intactum, cum esset maxime necessarium et ostendit magis abstrusa sed, pace illius dixerim, minus utilia. »

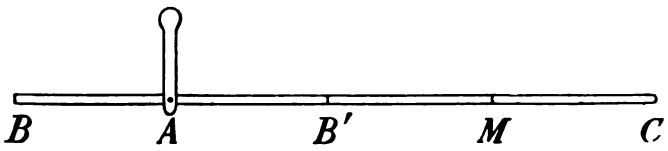

fig. 12.

Cette solution n'était peut être pas si malaisée à obtenir qu'elle méritât ce chant de triomphe ; néanmoins, elle eut, sur les raisonnements des successeurs de Cardan, une influence non douteuse. Abandonnant les *demandes* qu'Archimède avait mises à la base de ses raisonnements sur l'équilibre du levier, Simon Stevin d'une part, Galilée d'autre part, ramèneront l'étude du levier à la considération d'une verge pesante homogène, suspendue en son milieu, et cela au moyen des axiomes mêmes qu'a proposés Cardan. Or Galilée connaissait sinon l'*Opus novum*, au moins le *De Subtilitate*, qu'il cite fréquemment dans ses premiers travaux ; il serait malaisé d'admettre que Simon Stevin

(1) Cardan, *Opus novum*, Propositio XCII. Basileae, 1570, p. 84.
(2) Cardan, *Opus novum*, *loc cit.*

n'eût pris connaissance d'aucune des multiples éditions de cet ouvrage; quant à l'*Opus novum*, le géomètre flamand le cite et le critique.

Ces démonstrations de Statique, conçues à la manière d'Archimède, ne forment point la partie la plus importante des considérations que Cardan consacre à l'équilibre des poids ; autrement graves par leur portée sont les développements qu'il donne à l'axiome d'Aristote ; enrichissant et transformant cet axiome à l'aide des pensées

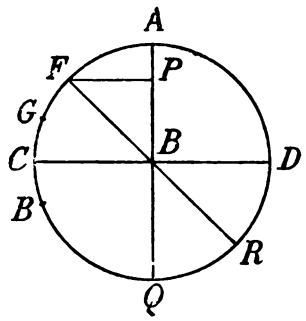

fig. 13.

que Léonard de Vinci a semées dans ses manuscrits, il en fait le Principe des vitesses virtuelles, tel que Galilée l'emploiera, tel qu'il demeurera jusqu'à Descartes.

Commençons par une citation dont nous analyserons ensuite le riche contenu. Voici comment, au premier livre du *De Subtilitate*, s'exprime Cardan (1), traduit par Richard Le Blanc : « *De la balance et de sa mesure.* Après ces choses, il faut voir des pois qui sont mis en la balence. Donques une livre [balance] soit, de laquelle la queue soit pendue en A (*fig. 13*), et la lancette où sont

(1) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc. Paris, L'Angelier, 1556, pp. 16 et 17.

joints les costés de la balence soit CD... Je dis que le pois mis en C sera plus puissant que si la balance estoit mise en quelque autre lieu, à savoir qu'elle fust mise en F. Or, afin que nous cognoissions que C est plus pesant en telle situation qu'en F, il est nécessaire qu'il soit mouvé en tems égal par plus grand espace vers le centre [du monde]. Car nous voions que les choses les plus graves par pareille raison estant aus autres, sont portées plus légèrement [rapidement] au centre. Or que ceci avienne plus par le pois et par la livre plus tost colloquée en C qu'en F, je le montre par deux raisons.

» La première raison est que si en aucun tems le pois est mouvé de C en E, et que l'arc CE soit égal à FG, qu'il descendrait de F en G plus tardivement que de C en E, et ainsi il sera plus léger en F qu'en C... Il est manifeste aux balences et à ceus qui lèvent les fais, que tant plus le fais est loing de la lancette, tant plus il est pesant ; or le pois en C est loing de la lancette par la quantité de la ligne BC et en F, par la quantité de la ligne FP... Donques cette raison est générale, que tant plus les pois sont loing de la borne, ou ligne de la descente par la ligne droite ou oblique, c'est à dire par l'angle, tant plus sont pesans... Et ainsi l'intention du pois est d'estre porté droictement au centre ; mais pour ce qu'il est empesché par ligature, il est mouvé comme il peut. »

Ainsi lorsqu'un grave descend suivant la verticale, la puissance motrice de ce grave est, comme le voulait Aristote, mesurée par la vitesse avec laquelle il tombe ; mais, par l'agencement du mécanisme qui le porte, par la nature des *liaisons*, selon le mot employé par Cardan et repris par la Mécanique moderne, il peut arriver que le grave ne se meuve pas selon la verticale ; alors, pour estimer sa puissance motrice, il faudra tenir compte non pas de la vitesse totale du grave, mais seulement de la

composante verticale de cette vitesse ou, en d'autres termes, de la vitesse de chute.

Si donc on suspend un poids donné en quelque point d'un solide mobile autour d'un axe horizontal, la puissance motrice de ce grave sera d'autant plus grande que le point de suspension s'abaissera plus rapidement par l'effet d'une rotation donnée, imprimée au support ; partant, elle sera d'autant plus grande que le point de suspension sera plus distant du plan vertical contenant l'axe.

Il nous est aujourd'hui bien facile d'achever cette analyse et, des prémisses posées, de tirer la proportionnalité entre la puissance motrice du grave suspendu et la distance du point de suspension au plan vertical contenant l'axe ; il nous suffit de nous reporter à la définition de la vitesse de chute, rapport d'une chute infinitésimale à sa durée infiniment petite ; nous voyons ainsi que la puissance motrice d'un poids, suspendu à un corps mobile autour d'un axe, est mesurée par le *moment* de ce poids par rapport au plan vertical contenant l'axe. Mais la notion de rapport entre deux quantités infiniment petites n'était point parvenue à maturité lorsque Cardan écrivait ; il ne pouvait donc développer la déduction dont nous venons de tracer la marche ; il pouvait seulement montrer que la puissance motrice du grave suspendu croît en même temps que son moment ou bien encore, comme il le fit dans l'*Opus novum* (1), admettre par intuition la proportionnalité de ces deux grandeurs. Le lien mécanique qui unit l'axiome d'Aristote, transformé (2) et devenu

(1) Cardan, *Opus novum*, Propositio XCVIII. Basileae, 1570, p. 92.

(2) En l'*Opus novum*, œuvre conçue dans sa vieillesse, Cardan semble parfois oublier la transformation qu'il a fait subir à l'axiome d'Aristote, pour recourir à cet axiome pris sous sa forme première ; ainsi la théorie du levier (*a*) y est exposée par un raisonnement analogue à celui que l'on trouve dans les Μηχανικὰ προβλήματα ; d'ailleurs l'influence de cet ouvrage se fait sentir à chaque instant dans l'*Opus novum*, où Cardan fait de nombreux renvois au Traité du Stagirite.

(*a*) Cardan, *Opus novum*, Propositio XLV : *Rationem staterae ostendere*. Basileae, 1570, p. 34.

Principe des vitesses virtuelles, à la théorie des moments n'en était pas moins clairement aperçu ; il dépendait des progrès de l'analyse infinitésimale qu'il devînt plus rigoureux.

Nous venons de voir Cardan rapprocher les unes des autres plusieurs idées créées ou acceptées par Léonard de Vinci et établir entre elles un lien que ce grand génie n'avait peut-être pas soupçonné, qu'il n'avait en tout cas nullement signalé; ailleurs, nous trouvons dans le médecin de Milan un fidèle interprète des pensées de Léonard ; ce qui est dit des moufles aux *Livres de la Subtilité* semble extrait des manuscrits dont l'étude a fait l'objet du précédent Chapitre.

« Le quatrième exemple de subtilité, dit Cardan (1), est aus moufles (2) ». Après avoir décrit un moufle à quatre brins, il ajoute : « Le fardeau donques... est tiré en haut par la quatrième partie de la force. Et si chacune poulie avait trois rouleaus, le fardeau pourrait estre tiré par la sixième partie de la force ; et ainsi un enfant pourra tirer en haut un grand fais, sinon en tant que la pesanteur des cordes, l'aspérité des rouleaus, ou poulies, ou moufles empeschent. Mais pource que la proportion des tems est comme des forces et puissances, l'enfant tirera par deux rouleaus quatre fois plus lentement, par trois rouleaus six fois plus lentement qu'il ne tire et lèverait d'une corde par mesme force, ains un peu plus grande, étant dessus, et trop plus lentement six fois ou quatre fois, d'autant que la longueur de la corde ajoute plus au fais ; donques il avient que l'enfant à peine en une heure tirera et lèvera le mesme fais par telle moufle, lequel un homme

(1) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc. Paris, L'Angelier, 1556, p. 333 (Livre XVII, *Des Arts et inventions artificieuses. La manière de lever facilement les fardeaus*).

(2) Le traducteur dit : « Aus vis, comme de pressoir ». Il ajoute un peu plus loin : « Aucuns les appellent moufles ». Cardan dit : « trochleis ». Ni le exte, ni la figure qui l'accompagne, ne laissent place à aucun doute ; il s'agit bien des moufles.

six fois plus robuste, estant en haut, peut lever incontinent d'une seule corde. »

Léonard de Vinci n'avait appliqué en détail l'axiome d'Aristote qu'au levier et aux moufles ; en ce qui concerne la vis, il s'était contenté de cette brève indication (1) : « Plus une force s'étend de roue en roue, de levier en levier ou de vis en vis, plus elle devient puissante et lente ».

Cette indication, Cardan la développe (2) sous ce titre : *La manière d'attirer et de pousser toutes choses en peu de force.* « Par semblable manière, dit-il, les vis que nous appelons vignes sont faites et composées... Tant plus donc seront de ploiements en la vis, et tant plus seront basses, c'est à dire plus proches au cercle et plus grandes, tant plus le poids sera léger et le mouvement facile ; et tant plus le mouvement sera facile, tant plus sera tardif. La vis donc peut estre de deux coudées par ces ploiements tant larges et bas, que le poids facilement sera levé d'un enfant de dix ans. Mais, comme j'ai dit, tant plus facilement il est mouvé, tant plus tardement il est tiré et levé. »

Ce Principe des vitesses virtuelles, Cardan l'applique, dans l'*Opus novum* (3), à l'évaluation de l'effet produit par le vérin et, dans le *De Subtilitate* (4), au calcul d' « une grande machine pour lever les grands fardeaus et fort pesans, qui est composée d'une vis et d'un vérain ».

En tout ce qui touche le Principe des vitesses virtuelles, Cardan a développé et complété avec sagacité les indications qu'il avait puisées dans la lecture des pensées de Léonard de Vinci. Il a été moins heureux en ce qui con-

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 35, verso. Paris, 1881.

(2) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc. Paris, L'Angelier, 1556, p. 333.

(3) Cardan, *Opus novum*, Propositio LXXI : *Proportionem levitatis ponderis per virgam torcularem attracti ad rectam suspensionem invenire.* Basileae, 1570, p. 63.

(4) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis en françois par Richard Le Blanc. Paris, l'Angelier, 1556, p. 334.

cerne le plan incliné. Dans le *De Subtilitate*, il n'en aborde pas l'étude. Dans l'*Opus novum*, il se propose (1) de déterminer la pesanteur d'une sphère mobile sur un plan incliné, pesanteur qu'il croit, selon le principe de Dynamique universellement admis à cette époque, proportionnelle à la vitesse avec laquelle la sphère livrée à elle-même descendra suivant ce plan. Comme cette vitesse, nulle lorsque le plan est horizontal, croît en même temps que l'angle d'inclinaison du plan, Cardan croit pouvoir énoncer la proposition suivante : *La pesanteur d'une sphère qui*

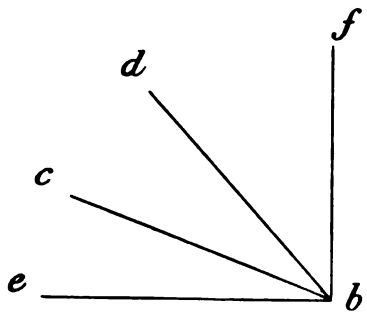

fig. 14.

descend un plan incliné est à la pesanteur de la même sphère tombant en chute libre comme l'angle du plan incliné avec le plan horizontal est à l'angle droit.

Bien que cette solution soit erronée, le passage où Cardan l'expose mérite d'être rapporté ; car il a certainement contribué à suggérer à Simon Stevin d'une part, à Galilée d'autre part, la solution exacte de ce problème célèbre. Stevin, dans sa Statique, cite et discute l'*Opus novum* de Cardan ; Galilée, lorsqu'il trouva pour la

(1) Cardan, *Opus novum*, Propositio LXXII : *Proportionem ponderis sphæræ pendentis ad ascensum per acclive planum invenire.* Basileae, 1570, p. 63.

première fois la loi du plan incliné, avait assurément sous les yeux le passage que nous allons citer :

« Soit une sphère *a* de poids *g* (*fig. 14*), placée au point *b*, que l'on veut tirer sur le plan incliné *bc*, *bf* étant le plan vertical. Sur le plan horizontal *be*, *a* peut être mû par une force aussi petite que l'on veut, selon ce qui a été dit ci-dessus ; par conséquent, selon l'opinion commune, la force qui mouvra *a* suivant *eb* sera nulle ; d'autre part, selon ce qui a été dit, *a* sera mû vers *f* par une force toujours constante et égale à *g*, dans la direction *bc* par une force constante égale à *k*, dans la direction *bd* enfin par une force constante égale à *h* ; donc, par la dernière demande, *cum termini servent quoad partes eandem rationem singuli per se* (1), et comme le mouvement selon *be* est produit par une force nulle, le rapport de *g* à *k* sera comme le rapport de la force qui meut selon *bf* à la force qui meut selon *bc*, et comme le rapport de l'angle droit *ebf* à l'angle *ebc* ; et de même la force qui meut *a* selon *bf* qui, selon ce qui a été dit, est *g* à la force qui meut selon *bd* qui, par hypothèse, est *h*, comme *ebf* est à *ebd* ; donc la résistance au mouvement de *a* selon *bd* est à la résistance au mouvement du même *a* selon *bc*, comme *h* est à *k* ; ce qu'on voulait démontrer (2). »

(1) Nous renonçons à traduire cet obscur membre de phrase.

(2) Libri (*Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, t. III, p. 174. Paris, 1840) a écrit ce qui suit : « Dans ses *Paralipomènes*, Cardan a donné pour la première fois le parallélogramme des forces pour le cas où les composantes agissent à angle droit (*Cardani Opera*, tome X, p. 516). Lagrange semble attribuer cette proposition à Stevin ». — Je n'ai pas été en mesure de contrôler cette affirmation de Libri ; d'autre part, il serait imprudent d'accepter sans vérification les affirmations de cet auteur ; trop souvent, il lisait les textes anciens d'une manière un peu superficielle et avec le désir d'y trouver des idées modernes qui n'étaient point encore conçues ; il affirme, par exemple (*loc. cit.*, p. 41), au sujet des manuscrits de Léonard de Vinci, que « la théorie du plan incliné s'y trouve exposée avec beaucoup de justesse » et nous avons vu ce qu'il fallait penser de cette affirmation. — L'affirmation de Libri touchant les *Paralipomènes* de Cardan fût-elle fondée, il est certain que Stevin, qui connaissait l'*Opus novum* lorsqu'il écrivait sa Statique, ne pouvait connaître cet autre ouvrage.

CHAPITRE IV

L'IMPOSSIBILITÉ DU MOUVEMENT PERPÉTUEL

On rangerait plus volontiers la question du mouvement perpétuel en Dynamique qu'en Statique ; mais, pour Léonard de Vinci et pour Cardan, non plus que pour Aristote, il n'existe entre ces deux sciences aucune infranchissable barrière. D'autre part, l'impossibilité du mouvement perpétuel a été admise, par Galilée et par Stevin, comme un axiome propre à fonder certaines démonstrations de Statique ; et Galilée et Stevin avaient lu les écrits de Cardan, où ils avaient peut-être puisé leur confiance en cet axiome ; et Cardan, écrivant contre le mouvement perpétuel, n'avait fait que résumer les notes éparses de Léonard de Vinci. Nous ne saurions donc nous faire une idée nette et complète des origines de la Statique si nous ne passions en revue les objections que Léonard de Vinci et Cardan ont opposées au *perpetuum mobile*.

La recherche du mouvement perpétuel est le nom générique par lequel on désigne deux utopies distinctes, la recherche du *perpétuel moteur* et la recherche du *perpétuel mobile*.

La plus grossière de ces utopies, la recherche du perpétuel moteur, est l'erreur du meunier qui, dans son réservoir, détient une masse d'eau déterminée, prête à tomber d'une hauteur déterminée et qui voudrait sans ajouter une pinte à cette eau, sans ajouter un pouce à la hauteur de son réservoir, combiner des engrenages merveilleux qui lui permettraient de moudre autant de grain qu'il lui plairait.

Nous avons vu avec quelle précision le grand hydraulicien qu'est Léonard ramène à leur juste mesure les ambitions de notre meunier. Qu'il mette sur sa roue cent

meules au lieu d'une ; chacune d'elles lui moudra cent fois moins de grain. Un poids donné, tombant d'une hauteur donnée, représente une puissance motrice déterminée ; cette puissance, on peut la morceler, en varier l'emploi à l'infini ; on ne l'accroîtra pas.

Cette vérité coupe court aux espérances de celui qui cherche un *perpétuel moteur* ; elle laisse le champ libre aux rêves de celui qui poursuit la réalisation d'un *perpétuel mobile*.

Sans demander à un engin aucun effet mécanique extérieur, mais aussi sans exercer sur lui aucune action, ne pourrait-on voir cet engin, une fois mis en branle, se mouvoir indéfiniment ? Ne pourrait-on, par exemple, construire une roue si parfaite qu'une fois lancée, elle tournerait autour de son axe sans s'arrêter jamais ? Ne pourrait-on agencer une horloge à poids exactement égaux, où le poids qui est parvenu en haut de sa course descendrait à son tour en relevant le poids dont la chute avait causé son ascension, en sorte que cette horloge perpétuelle *se remonterait elle-même ?*

C'est folie de demander un mouvement perpétuel à une impulsion initiale, car la puissance motrice de cette impulsion, ce que Léonard de Vinci nomme sa « forza » ou son « impeto », ce que Leibniz nommera sa force vive, va s'épuisant sans cesse ; c'est folie également d'attendre d'un agencement de poids un *perpétuel mobile*, car la gravité tend toujours à l'équilibre ; tout mouvement produit par elle a pour terme le repos :

« Aucune chose sans vie, dit Léonard de Vinci (1), ne peut pousser ou tirer sans accompagner la chose mue ; ces moteurs ne peuvent être que *forza* ou pesanteur ; si la pesanteur pousse ou tire, elle ne fait ce mouvement dans la chose que parce qu'elle désire le repos, et aucune

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien. Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 21, verso. Paris, 1881.

chose mue par son mouvement de chute n'étant capable de revenir à sa première hauteur, le mouvement prend fin. »

« Et si la chose qui meut une autre chose est la *forza*, cette force, elle aussi, accompagne la chose mue par elle, et elle la meut de telle sorte qu'elle se consume elle-même ; étant consumée, aucune des choses qui ont été mues par elle n'est capable de la reproduire. Donc aucune chose mue ne peut avoir une longue opération, parce que, les causes manquant, les effets manquent. »

Les contemporains de Léonard lui accordaient volontiers que la puissance motrice d'une impulsion communiquée à un ensemble de corps va se dissipant ; tous les péripatéticiens, en effet, tenaient pour un axiome que le mouvement violent va toujours se consumant : « Nullum violentum potest esse perpetuum », répétaient-ils. Pour peindre cette continuelle déperdition de la force vive au sein d'un système en mouvement, Léonard trouve des expressions d'une poésie enflammée : « Je dis (1) que la *forza* est une vertu spirituelle, une puissance invisible qui, au moyen d'une violence accidentelle extérieure, est causée par le mouvement, introduite et infuse dans les corps, qui se trouvent tirés et détournés de leur habitude naturelle ; elle leur donne une vie active d'une merveilleuse puissance, elle contraint toutes les choses créées à changer de forme et de place, court avec furie à sa mort désirée et va se diversifiant suivant les causes. La lenteur la fait grande et la vitesse la fait faible ; elle naît par violence et meurt par liberté. Et plus elle est grande, plus vite elle se consume. Elle chasse avec furie ce qui s'oppose à sa destruction, désire vaincre et tuer la cause de ce qui lui fait obstacle et, vainquant, se tue elle-même... Aucun mouvement fait par elle n'est durable. Elle croît dans les fatigues et disparaît par le repos. »

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien. Ms. A de Bibliothèque de l'Institut, fol. 34, verso. Paris, 1881.

Avec la même richesse d'images, Léonard compare cette déperdition de la force vive à la continuelle tendance de la gravité vers le repos : « Si le poids désire la stabilité (1) et si la *forza* est toujours en désir de fuite, le poids est par lui-même sans fatigue, tandis que la *forza* n'en est jamais exempte. Plus le poids tombe, plus il augmente (2), et plus la *forza* tombe, plus elle diminue. Si l'un est éternel, l'autre est mortelle. Le poids est naturel et la *forza* accidentelle. Le poids désire stabilité et puis immobilité ; la *forza* désire fuite et mort d'elle-même. »

Comment cette continuelle tendance de la gravité à un état d'équilibre final (3) se manifeste-t-elle dans un mécanisme ? Elle se manifeste par cette loi qu'en un mécanisme en mouvement, « toujours le moteur est plus puissant que le mobile (4) » ; c'est en vertu de cette loi, par exemple, que « la corde qui descend des poulies sent plus de poids et, par conséquent, se fatigue plus que la corde opposée qui monte ». Cette inégalité, de sens invariable, entre la puissance du moteur et la résistance du mobile, se retrouve en tout mécanisme : « Par exemple (5), si tu veux que le poids *b* lève le poids *a*, les bras de la balance étant égaux, il est nécessaire que *b* soit plus lourd que *a*. Si tu voulais que le poids *d* levât le poids *c*, qui est plus lourd que lui, il serait nécessaire de lui faire faire une plus grande course dans sa descente que ne fait *c* dans sa

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 35, recto. Paris, 1881.

(2) Léonard connaissait la chute accélérée des graves dont il a longuement traité en plusieurs passages, notamment au Ms. M de la Bibliothèque de l'Institut.

(3) Ici encore, Léonard ne fait que développer les enseignements de l'École : « Motus simplex terminatur ad quietem », y disait-on.

(4) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 20, recto. Paris, 1888. — Cf. Ms. E, fol. 58, verso ; Ms. G, fol. 81, recto et fol. 82, recto. Paris, 1890.

(5) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 22, verso. Paris, 1881.

montée ; et s'il descend plus, il faut que le bras de la balance qui descend avec lui soit plus long que l'autre. Et si tu voulais que le petit poids *f* levât le grand *e*, il faudrait que le poids *f* se mût sur une plus grande longueur et plus rapidement que le poids *e*. » C'est l'excès seul de la puissance du moteur sur la résistance du mobile qui détermine le mouvement ; plus cet excès est grand, plus le mouvement est vif. « Aucune puissance (1) ne prévaut sur sa résistance, sinon avec la partie de laquelle elle excède cette résistance. Ou bien : aucun moteur ne prévaut sur son mobile, sinon par ce dont il excède ce mobile... Et d'autant plus que le mouvement du mobile est joint à l'*impeto*, et d'autant plus qu'est grand l'*impeto* de ce mobile, qui peut croître à l'infini. » Si une poulie porte deux poids égaux, ces poids demeureront immobiles ; s'ils sont inégaux, le plus lourd descendra avec une vitesse proportionnelle à son excès sur le plus léger : « Si une livre de poids tombe contre une livre de résistance (2), elle ne changera pas de place ; elle restera de même. Et si par dessus se trouve attachée une autre livre, elle descendra à terre en une certaine quantité de temps ; si tu y ajoutes encore une autre livre, tout le poids descendra avec une vitesse doublée. »

Donc l'horloge qui se remonterait elle-même est une chimère ; toujours le poids qui possède la plus grande puissance motrice se mettra à descendre et, quand il sera parvenu au bas de sa course, l'horloge s'arrêtera ; de là, cette conclusion (3) de Léonard :

« *Contre le mouvement perpétuel*. Aucune chose insensible ne pourra se mouvoir par elle-même ; par conséquent, si elle se meut, elle est mue par une puissance

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 21, recto Paris, 1888.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch Ravaisson-Mollien ; Ms A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 22, verso Paris, 1881.

(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 22, verso. Paris, 1881.

inégale, c'est-à-dire de temps et de mouvement inégaux, ou de poids inégal. Et le désir du premier moteur ayant cessé, aussitôt cessera le second. »

Ce sont ces pensées de Léonard que Cardan résume lorsqu'aux livres *De la Subtilité*, « il démontre que le mouvement n'est perpétuel en toutes choses (1). » Lorsque l'on tente de réaliser un perpétuel mobile, « ce que l'on demande à proprement parler, c'est ceci : existe-t-il un mouvement qui en lui-même, et en dehors de toute génération nouvelle, renferme une cause capable de le perpétuer ? Le problème serait résolu si l'on possédait des horloges qui, au lieu de mettre en branle ce mouvement qui annonce les heures en frappant des coups, remonteraient les poids en haut de leur course. Or, les mouvements qui peuvent ébranler les graves sont de trois sortes seulement : ou bien ils tendent essentiellement au centre du monde ; ou bien ils ne sont pas simplement dirigés vers le centre, comme l'écoulement des eaux ; ou bien ils découlent d'une nature particulière, comme le mouvement du fer vers l'aimant. Il est constant que le mouvement perpétuel doit être cherché parmi les mouvements des deux premiers genres (2). Or, lorsqu'un poids est tiré plus

(1) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis de latin en françois par Richard le Blanc. Paris, l'Angelier, 1556, p. 339. Les citations qui suivent sont traduites directement du texte latin et non pas tirées de la traduction de Richard le Blanc, fort obscure en ce passage.

(2) On remarquera que Cardan évite de se prononcer sur la possibilité d'engendrer le mouvement perpétuel à l'aide d'aimants. Les propriétés si étranges des aimants préoccupaient singulièrement, à cette époque, ceux qui espéraient réaliser un *perpetuum mobile*. En 1558, Achille Grasser imprimait pour la première fois à Augsbourg, d'après une des nombreuses copies manuscrites qui circulaient parmi les physiciens, l'écrit célèbre composé par Pierre de Maricourt (Petrus Peregrinus), dans le camp de Charles d'Anjou, devant Lucera, le 8 août 1269. En cet écrit (*a*), Pierre de Maricourt,

(*a*) Petri Peregrini Maricurtensis, *De magnete, seu rota perpetui mobilis libellus*. Divi Ferdinandi Rhomanorum imperatoris auspicio per Achillem P. Grasserum L. num primum promulgatus Augsburgi in Suevis, Anno Salutis 1558. — Cet ouvrage est réimprimé dans : *Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus*, herausgegeben von G. Hellmann. N° 10, *Rara magnetica*. Berlin, 1896.

fortement ou retenu plus énergiquement que ne le comporte sa nature, son mouvement est naturel, il est vrai, mais il n'est pas exempt de violence ; de ces deux circonstances, on trouve un exemple dans les poids des horloges... Quant au mouvement autour d'un cercle, il ne convient naturellement qu'au ciel et à l'air ; encore celui-ci n'en est-il pas animé d'une manière constante ; pour les autres graves, il a toujours son principe dans un mouvement selon la verticale. Les eaux elles-mêmes sont animées d'un certain mouvement selon la verticale ; ainsi, dans les fleuves, au fur et à mesure que les eaux sont engendrées par la source, elles descendent sans cesse suivant la déclivité du lit. Or, pour que le mouvement fût perpétuel, il faudrait que les graves qui ont été déplacés, parvenus à la fin de leur course, fussent reportés à leur situation initiale. Mais ils n'y peuvent être reportés que par un certain excès [de puissance motrice]. Ainsi donc, ou bien la continuité du mouvement découlera de ce que ce mouvement est conforme à la nature (1), ou bien cette continuité ne se maintiendra pas égale à elle-même. Or, ce qui diminue sans cesse, à moins d'être accru par une action extérieure, ne saurait être perpétuel. »

Dans les considérations de Léonard de Vinci et de Cardan il n'y a pas seulement la négation du perpétuel mobile, il y a plus ; il y a cette affirmation qu'une uniforme tendance dans tous les mouvements que nous observons, tendance des graves à descendre autant que possible, à chercher le lieu de leur éternel repos. Cette pensée est constamment présente à l'esprit de Léonard de Vinci. « Tout poids (2) désire descendre au centre par la voie la

après avoir établi les lois des actions magnétiques en logicien rompu à la méthode expérimentale, essaye de produire un *perpetuum mobile* à l'aide d'aimants.

(1) Cardan entend réserver par là le mouvement du Ciel, qui est perpétuel par nature.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 35, recto. Paris, 1881.

plus courte; et où il y a plus de pesanteur, il y a un plus grand désir, et la chose qui pèse le plus, laissée libre, tombe le plus vite... » — « Le poids (1) pousse toujours vers le lieu de son départ... Et le lieu du poids est unique; c'est la terre. » Cette proposition peut servir de principe pour expliquer l'équilibre et le mouvement des eaux : « Cette chose est plus haute qui est plus éloignée du centre du monde (2), et celle-là est plus basse qui est plus voisine de ce centre. L'eau ne se meut pas de soi si elle ne descend pas et, se mouvant, elle descend. Que ces quatre conceptions, prises deux à deux, me servent à prouver que l'eau qui ne se meut pas de soi a sa surface équidistante du centre du monde... Je dis qu'aucune partie de la surface de l'eau ne se meut de soi-même, si elle ne descend pas ; donc la sphère de l'eau n'ayant aucune partie de surface à pouvoir descendre, il est nécessaire par la première conception qu'elle ne descende pas. »

Sans doute, l'eau semble parfois monter spontanément et certains appareils hydrauliques exploitent cette propriété ; mais, en réalité, on n'obtient en ces appareils l'ascension d'une petite quantité d'eau que par la chute d'une très grande masse ; c'est ce que fait observer Cardan (3), traitant de « la vis d'Archimèdes. Donc il semble que cet argument ne conclud : L'eau descend perpétuellement, donc, en la fin, elle sera en un lieu plus bas qu'au commencement. Toutefois, elle ne descend pas tousjours, mais la partie qui descend la plus grande pousse la plus petite et la contraint de monter. »

Telle est donc la loi générale des mouvements produits par la gravité ; aucun corps ne monte qu'il n'en descende

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. C de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 6, verso. Paris, 1888.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. F de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 27, recto ; fol. 26, verso et fol. 30, verso. Paris, 1889.

(3) Cardan, *Les Livres de la Subtilité*, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc. Paris, l'Angelier, 1556. pp. 12 et 13. — Ce passage ne se trouve pas dans la première édition du *De Subtilitate* ; il a été ajouté en la seconde édition.

un plus lourd. « Tout grave tend en bas (1), et les choses hautes ne resteront pas à leur hauteur, mais avec le temps, elles descendront toutes, et ainsi avec le temps le monde restera sphérique et, par conséquent, sera tout couvert d'eau. »

Toute cette argumentation de Léonard de Vinci et de Cardan est tirée des principes de la Dynamique péripatéticienne : proportionnalité de la vitesse à la force qui meut le mobile, de la vitesse de chute au poids du grave. Ces fondements, les progrès de la Mécanique vont les emporter. Et cependant, une Mécanique plus avancée encore viendra fortifier les conclusions. Presque constamment, nous avons laissé la parole aux auteurs du XVIe siècle; or, ce qu'ils nous ont dit a comme une saveur très moderne; leurs pensées sont très voisines de celles des physiciens qui ont lu Clausius, William Thomson et Rayleigh. C'est que la Thermodynamique, en complétant la Dynamique trop simplifiée issue des *Discorsi* de Galilée, a comblé en partie l'abîme qui séparait celle-ci de la Dynamique d'Aristote.

Ce n'est pas ici le lieu d'insister sur ce rapprochement, qui nous entraînerait bien loin des origines de la Statique. Nous avons vu comment les pensées les plus essentielles de Léonard de Vinci avaient été publiées dans les ouvrages de Cardan; la grande vogue de ceux-ci va permettre à ces pensées d'influer sur le développement de la Science.

A la fin du XVIe siècle, cette influence se divise en deux courants; l'un se fait sentir en Italie, où il inspire les travaux de Jean-Baptiste Benedetti, de Guido Ubaldo, de Galilée, de Torricelli ; l'autre, canalisé par Simon Stevin, féconde la science flamande ; ces deux courants viendront confluer en Roberval et en Descartes.

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. F de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 84. recto. Paris, 1889.

CHAPITRE IV

LES SOURCES ALEXANDRINES DE LA STATIQUE DU MOYEN AGE

Le géographe qui veut décrire le bassin d'un vaste fleuve marque d'abord, à grands traits, la marche des principales rivières qui servent à former ce cours d'eau ; puis, revenant sur cette description provisoire et sommaire, il détaille les sinuosités des mille ruisselets dont les eaux viennent grossir les principaux affluents.

Ainsi devons-nous faire en cette étude sur les Origines de la Statique. Nous avons résumé, tout d'abord, les idées abondantes et fécondes que contiennent les écrits d'Aristote, d'Archimède, de Léonard de Vinci ; nous avons vu comment, par l'intermédiaire des heureux plagiats de Cardan, les pensées du grand peintre étaient venues féconder le XVIe siècle.

Mais nous n'avons encore obtenu qu'une esquisse grossière du développement que la Statique a subie de l'antiquité à la Renaissance ; aux traits essentiels que nous avons marqués, une foule de détails doivent être ajoutés.

Pour fixer ces détails, nous avons dû nous imposer un pénible labeur ; nous avons dû dépouiller et compulser les nombreux manuscrits, relatifs à la Statique, que renferment la Bibliothèque Nationale et la Bibliothèque Mazarine ; ce dépouillement nous a permis, croyons-nous, de découvrir plus d'une source, inconnue ou méconnue jusqu'ici, dont les eaux ont largement contribué à former la science moderne ; mais, malgré nos investigations, bien des questions demeurent encore obscures ; nous ne doutons pas que des recherches, analogues aux nôtres, poursuivies dans les principales bibliothèques de l'Europe,

ne donnent aux esprits curieux de nouvelles trouvailles, ne leur permettent de combler les lacunes que nous avons dû laisser béantes et ne les conduisent, peut-être, à modifier quelques-unes de nos conclusions.

Avant d'aborder l'étude du traité de Statique fondamental qu'a produit, au moyen âge, l'énigmatique Jordanus de Nemore, il nous faut recueillir les débris, épars parmi les manuscrits, des écrits composés à Alexandrie sur la science de l'équilibre. Ce sera l'objet du présent Chapitre.

1. *Les écrits attribués à Euclide*

Les idées dont nous nous proposons de suivre l'évolution compliquée sont issues, en partie, de la science grecque ; non seulement nous aurons à démêler l'influence exercée au moyen âge, sur Jordanus de Nemore, par certains passages des Μηχανικὰ προβλήματα d'Aristote, mais encore il nous faut rechercher l'origine de quelques-unes de ces idées en un fragment attribué à Euclide.

Bien que l'antiquité grecque n'attribue à Euclide aucun écrit sur la Mécanique, le nom de ce grand géomètre revient fréquemment dans les livres des auteurs arabes qui ont écrit sur la Statique, et trois fragments relatifs à la Mécanique sont donnés comme de lui.

Le premier de ces fragments ne semble pas avoir été connu, au moyen âge, par les géomètres occidentaux ; il a été signalé, en 1851, par le Dr Woepcke, qui l'a traduit de l'arabe et publié dans le JOURNAL ASIATIQUE (1) sous le titre : *Le livre d'Euclide sur la balance*. Le texte de ce traité se trouve dans le manuscrit n° 952.2 du Supplément arabe de la Bibliothèque Nationale, manuscrit composé à Chîrâz en l'an 358 de l'hégire (970 de notre ère).

« Dans un autre exemplaire, dit le Dr Woepcke, j'ai

(1) Dr Woepcke, *Notice sur des traductions arabes de deux ouvrages perdus d'Euclide* (JOURNAL ASIATIQUE, 4e série, t. XVIII, p. 217 ; 1851).

trouvé ce livre attribué aux Benî Moûçâ, collationné avec l'exemplaire d'Aboûl Hoçaïn Alsoûfî. Cette circonstance s'expliquerait par la supposition que les Benî Moûçâ auraient traduit ou revu ce traité, et qu'un copiste aurait omis le nom de l'auteur original. » A l'appui de l'opinion qui attribuerait ce traité à Euclide, le Dr Woepcke signale la mention qui est faite de démonstrations d'Euclide sur le levier dans un certain traité *De canonio* que renferme un manuscrit de la Bibliothèque Nationale. Mais, au § 3, nous aurons à revenir sur le traité *De canonio* et sur la mention qu'il renferme ; nous verrons que cette mention a trait non point à l'écrit traduit par le Dr Woepcke, mais à un autre écrit également donné comme d'Euclide.

A l'encontre de l'opinion du Dr Woepcke, M. Maximilian Curtze (1) n'hésite pas à regarder le traité de la balance comme un traité arabe dû à quelqu'un des fils de Mûzâ ibn Schâkir, à l'un des *trois frères* Muhammed, Ahmed et Alhasan, dont le livre de géométrie fut si célèbre au moyen âge : M. Heiberg (2) se range à cet avis. M. Curtze rappelle en effet, d'après M. Steinschneider (3), que l'un des *trois frères*, l'un des Benî Moûçâ, avait écrit un livre sur la balance ; ce livre aurait été ensuite développé par Thâbit ibn Kurrah et l'écrit de Thâbit ibn Kurrah, que nous possédons, ne serait qu'une amplification de l'écrit publié par M. Woepcke.

Mais toute cette argumentation nous semble caduque. Nous aurons à parler longuement, au § 2, du livre de Thâbit ibn Kurrah ; nous verrons, par le témoignage très explicite de l'auteur, que son écrit n'est point l'amplifica-

(1) Maximilian Curtze, *Das angebliche Werk des Euklides über die Waage* (ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, XIXer Jahrgang, 1874, p. 263).

(2) Heiberg, *Litterargeschichtliche Studien über Euklid*, Leipzig, 1882, p. 11.

(3) Steinschneider, *Intorno al Liber Karastonis. Lettera a D. Baldassare Boncompagni* (ANNALI DI MATEMATICA, t. V, p. 54 ; 1863).

tion d'un traité arabe, mais le commentaire d'un ouvrage grec ; d'ailleurs, les problèmes traités dans l'ouvrage de Thâbit sont, pour la plupart, étrangers au *Livre sur la balance ;* si le problème de l'équilibre du levier y est traité, comme il l'est dans l'écrit que le Dr Woepcke attribue à Euclide, il y est résolu par une tout autre méthode, par la méthode d'Aristote.

Une autre raison peut être invoquée pour prouver que l'écrit en question est d'origine grecque.

M. Hultsch a fait cette remarque curieuse que les traités arabes traduits du grec gardent, en quelque sorte, l'estampille de leur origine dans la suite des lettres qui servent à noter les divers points des figures ou les diverses grandeurs dont on raisonne ; ces lettres se succèdent toujours ainsi :

a, *b*, *c* ou *g*, *d*, *e*, *z*, *h*, *t*,

reproduisant l'ordre de l'alphabet grec :

α, β, γ, δ, ε, ζ, η, θ.

Or, cette sorte de marque de fabrique se retrouve dans les figures du traité publié par M. Woepcke et nous assure que ce traité représente un fragment de la science hellène.

Il n'en résulte pas que ce fragment puisse, au moins dans son état actuel, être attribué à Euclide ; des quatre propositions qui le composent, les deux premières sont établies par une suite de considérations où les contradictions se pressent, où il est impossible d'apercevoir trace de raisonnement concluant ; on ne saurait, sans injure, regarder cet entassement de paralogismes comme issu du génie logique auquel nous devons les *Éléments*.

Il semble qu'il faille voir, dans le traité qui nous occupe, l'œuvre d'un bon géomètre, défigurée par quelque commentateur maladroit ; celui-ci aurait voulu démontrer

deux postulats indémontrables et en aurait fait les deux théorèmes illogiques que nous avons mentionnés. Ces additions malencontreuses seraient elles-mêmes non d'origine arabe, mais de source grecque, à en juger par l'ordre des lettres employées dans les figures.

Débarrassé de ces démonstrations parasites et vicieuses, le traité débuterait par quatre axiomes ; les deux premiers, qui y sont effectivement énoncés, sont les suivants :

« *Axiome I.* Lorsque deux poids égaux sont suspendus aux deux extrémités d'un fléau droit, d'épaisseur uniforme, et que le fléau à son tour est suspendu, par le point qui se trouve au milieu entre les deux poids, à un arbre de balance, le fléau demeure parallèle au plan de l'horizon.

» *Axiome II.* Lorsque deux poids égaux ou inégaux sont appliqués aux deux extrémités d'un fléau, celui-ci étant suspendu à un arbre de balance, en un de ses points, de telle sorte que les deux poids maintiennent le fléau parallèle à l'horizon ; qu'ensuite l'un des deux poids soit laissé à sa place à l'extrémité du fléau ; que l'on mène de l'autre extrémité du fléau une droite, formant avec celui-ci un angle droit, de tel côté que l'on voudra ; et qu'on suspende l'autre poids en un point quelconque de cette droite ; le fléau restera parallèle au plan de l'horizon.

» C'est pourquoi le poids n'est pas changé si l'on raccourcit les cordons de l'un des deux bassins et si l'on prolonge ceux de l'autre bassin. »

Les pseudo-démonstrations des propositions I, II et III impliquent les deux axiomes suivants :

« *Axiome III.* Si des poids maintiennent un fléau de balance parallèle à l'horizon et si l'on suspend un nouveau poids quelconque au point de suspension du fléau, celui-ci demeure parallèle à l'horizon.

» *Axiome IV.* Si des poids en nombre quelconque maintiennent un fléau de balance parallèle à l'horizon ; si Z, D, sont deux de ces poids suspendus à un même bras du fléau ; si l'on éloigne le poids Z du point de suspension de la

balance d'une certaine longueur et si l'on rapproche le poids D du point de suspension de la même longueur, le fléau demeure parallèle à l'horizon. »

Cet axiome, qui rend logique la démonstration de la proposition III, conduit l'auteur à la notion de *puissance de poids*, notion que nous nommerions aujourd'hui le *moment du poids* par rapport au point de suspension ; elle lui montre que cette puissance diminue par degrés égaux lorsqu'on diminue de segments égaux la distance du poids au point de suspension du fléau.

Ces axiomes donnent, en la proposition IV, une élégante démonstration de la loi du levier ; résumons en quelques lignes cette démonstration :

Imaginons un levier AB dont le point d'appui est C

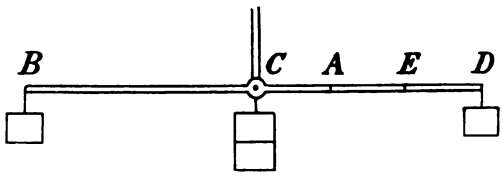

fig. 15.

(fig. 15) et supposons le bras de levier CB triple du bras de levier AC. Un poids P est suspendu en B ; quel poids faut-il suspendre en A pour lui faire équilibre ?

Prolongeons CA d'une longueur AD telle que CD = AB ; AD sera double de CA. En D, suspendons un poids égal à P, et en C deux autres poids égaux à P. D'après nos trois premiers axiomes, le fléau sera en équilibre.

D'après notre quatrième axiome, nous pouvons amener au milieu E de AD le poids qui était en D, et amener en A l'un des deux poids qui étaient en C ; le fléau demeurera parallèle à l'horizon ; il demeurera encore parallèle à l'horizon si l'on amène en A le poids déjà amené en E et le second des poids suspendus en C ; le fléau sera donc

parallèle à l'horizon si l'on suspend en B un poids P et en A un poids triple de P.

Cette démonstration, qu'il est aisé de généraliser, conduit à la loi bien connue de l'équilibre du levier.

Il nous paraît donc que, sous des maquillages et des altérations qui remontent sans doute à l'antiquité grecque, le fragment exhumé par le Dr Woepcke laisse deviner une intéressante relique de la science hellénique ; l'auteur s'est proposé de démontrer la loi de l'équilibre du levier non pas à partir d'un principe général de Dynamique, comme le fait Aristote, mais au moyen de postulats auxquels leur simplicité et l'expérience de chaque jour confèrent une sorte d'évidence ; sa méthode est donc celle dont Euclide a donné, dans ses Éléments de géométrie, d'inoubliables modèles, celle qu'Archimède a adoptée lorsqu'il a voulu traiter de la Statique ou de l'Hydrostatique ; mais l'application qu'il a faite de cette méthode est très inférieure à celle qu'Archimède en a donnée en démontrant la même loi de l'équilibre du levier. Il ne serait donc pas impossible que l'écrit sur la balance, dont nous ne possédons plus qu'une réplique étrangement déformée, fût antérieur à Archimède et contemporain d'Euclide.

C'est d'un autre texte, également attribué à Euclide, que nous allons maintenant nous occuper.

Ce fragment est connu depuis fort longtemps. Herwagen (Herwagius) en inséra une traduction latine dans l'édition des œuvres d'Euclide qu'il donna à Bâle en 1537 ; cette traduction fut reproduite exactement dans les éditions des mêmes œuvres données à Bâle en 1546 et 1558 ; Gregory l'a insérée, avec une correction tacite, dans l'édition d'Euclide qu'il publia à Oxford en 1747. En 1565, Forcadel publia à Paris le *Livre des Poids*, faussement attribué à Archimède ; il inséra, à la suite de cet ouvrage, une traduction française du texte latin donné par Herwagen.

Au sujet de l'origine de ce fragment, qu'il intitule *De*

ponderoso et levi, Herwagen (1) ne donne que ce renseignement sommaire : « Dans le temps même que cette œuvre touchait à sa fin, quelqu'un m'apporta un petit livre ou plutôt un fragment (car il paraît mutilé) *De levi et ponderoso* ; je l'ai ajouté... »

En ces dernières années, M. Maximilien Curtze a découvert à Dresde, dans le Manuscrit catalogué Db. 86, une copie latine du petit traité attribué à Euclide ; il l'a publiée (2) en reproduisant en regard le texte, légèrement différent, qu'avait donné Herwagen.

Cette publication ne peut laisser de doute sur l'origine grecque du fragment ; les lettres qui servent à désigner les grandeurs dont on raisonne se succèdent dans l'ordre *a*, *b*, *g*, *d*, *e*, *z*, *h*, *t*, parfois légèrement troublé par le copiste, qui a lu, par exemple, *r* au lieu de *z*.

Le titre exact du fragment manuscrit est : *Liber Euclidis de gravi et levi et de comparatione corporum ad invicem*. Sans analogie avec le *Livre de la balance*, exhumé par le Dr Woepcke, ce *Livre du grave et du léger* est consacré au principe fondamental de la Dynamique aristotélicienne dont il donne le commentaire le plus précis que nous possédions. Il procède, en effet, à la manière d'Euclide, par définitions et théorèmes.

Parmi ces définitions, citons celles-ci, où l'empreinte péripatéticienne est profondément marquée :

« On nomme corps égaux en vertu *(virtus)* ceux qui parcourent des espaces égaux en des temps égaux au sein du même air ou de la même eau.

« Ceux qui parcourent des espaces égaux en des temps différents sont dits différents en vertu *(fortitudo)*.

« Et celui qui a le plus de vertu *(virtus)* est celui qui a mis le moins de temps. »

Les mots *virtus*, *fortitudo* ont visiblement ici le même

(1) Cf. Heiberg, *Litterargeschichtliche Studien über Euklid*, p. 10.
(2) Maximilian Curtze, *Zwei Beiträge zur Geschichte der Physik* (BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3e Folge, Bd. I, p. 51 ; 1900).

sens que les mots δύναμις, ἰσχὺς employés, en des circonstances analogues, par Aristote (1).

Que l'on ne s'étonne pas de voir l'auteur du *Livre du grave et du léger* tenir compte, en ses définitions, de l'influence du milieu, et que l'on n'y voie pas une marque nécessaire des découvertes d'Archimède ; la Physique Aristotélicienne, en effet, admettait, elle aussi, que le milieu influe sur la vitesse de chute des corps ; cette vitesse est d'autant plus grande que le milieu est moins dense ; dans le vide, elle deviendrait infinie ; et de là, le Stagirite tirait un des principaux arguments contre la possibilité du vide. Ce n'est point à dire, d'ailleurs, que l'on ne puisse citer des arguments en faveur de l'opinion qui placerait après Archimède la composition du *De ponderoso et levi*. Les manuscrits du moyen âge renferment un élégant petit traité sur la détermination des poids spécifiques ; notre Bibliothèque Nationale en possède, en son *fonds latin*, au moins trois copies, insérées aux Mss. 7215, 7377 B et 10252 ; Curtius Trojanus l'a imprimé, d'une manière très fautive d'ailleurs, à la suite du *Jordani opusculum de ponderositate* qu'il édita, à Venise, en 1565. Ce traité, parfois attribué à Archimède, lui est sûrement postérieur. Or, la parenté de ce petit traité avec le *De ponderoso et levi* est des plus claires. Le traité du pseudo-Archimède reprend, à ses débuts, quelques-unes des définitions du *De ponderoso et levi ;* peut-être, primitivement, se trouvait-il simplement faire suite à ce dernier. Il ne paraît point douteux, en tous cas, que ces deux écrits soient de la même École ; s'ils ne sont pas exactement de la même époque, le traité du pseudo-Archimède serait l'œuvre d'un continuateur du *De ponderoso ;* ce n'est point sans raison qu'en 1565, l'abbé Forcadel réunissait ces deux fragments, qu'il publiait en français, à Paris, comme représentant le *Livre des Poids* d'Archimède.

(1) Aristote, Φυσικῆς ἀκροάσεως, H, ε.

L'auteur du *Livre du grave et du léger* définit ce qu'il nomme *corps de même genre*, ce que nous appellerions aujourd'hui *corps de même poids spécifique :*

« On nomme corps de même genre ceux qui, pris sous des volumes égaux, ont une même vertu.

» Si des corps de même volume sont de vertus différentes par rapport au même air ou à la même eau, ils sont dits de genres différents.

» Et celui qui a le plus de vertu est dit le plus dense *(solidius)*. »

Mais les propriétés qui se rattachent pour l'auteur grec à cette notion de *corps de même genre* sont bien différentes de celles que nous attribuons aujourd'hui aux *corps de même poids spécifique ;* il démontre, en effet (propositions II et III), que des corps de même genre ont des vertus proportionnelles à leurs grandeurs ; c'est-à-dire, selon ses propres définitions, que leurs vitesses de chute sont proportionnelles à leurs volumes. Une telle loi, contraire à celle que l'on admet depuis Benedetti et Galilée, est, au contraire, une des lois essentielles de la Physique d'Aristote. L'auteur grec, d'ailleurs, dans la démonstration qu'il en donne, admet implicitement ce postulat : *Quand on réunit deux graves en un seul, leurs vitesses de chute s'ajoutent ;* ce fut le titre de gloire de J.-B. Benedetti de ruiner la confiance accordée à ce postulat par toute l'antiquité.

Réduit à ce qu'ont publié Herwagen et M. M. Curtze, le *Liber de graci et levi* se présente comme l'exposé le plus précis que nous possédions des principes de la Dynamique d'Aristote ; il n'aurait aucunement trait à la science de l'équilibre qui nous occupe seule en ce moment ; mais Herwagen nous a déjà averti que cet écrit semblait être un fragment mutilé ; ne pourrait-on retrouver quelque trace des propositions qui, sans doute, lui faisaient suite en l'ouvrage original ?

Un manuscrit conservé à la Bibliothèque Nationale (1), et qui paraît être du XVIe siècle, contient, sous ce titre : *Incipit liber Euclidis de ponderibus et levitatibus corporum ad invicem*, une réplique de l'écrit qui nous occupe ; le copiste a inscrit, à la fin, cette mention : *Explicit, quia plus non invenitur*, où se retrouve l'affirmation que le *Livre du léger et du grave* est un fragment mutilé.

Ce nouveau texte renferme, avec des variantes insignifiantes, presque tout ce qu'a publié M. M. Curtze ; mais un autre morceau s'y vient enchâsser de la manière la plus étrange. A peine la démonstration de la proposition que M. Curtze note comme la quatrième est-elle ébauchée que l'on voit le texte devenir incompréhensible ; les mots n'ont plus aucun rapport avec ceux qui précèdent ; bientôt, on reconnaît que la démonstration, dont la suite fait défaut, s'est soudée à la dernière partie de l'énoncé d'une proposition nouvelle.

Cette proposition, que nous allons désigner par la lettre B, nous dirons tout à l'heure par quel heureux concours de circonstances nous en avons pu retrouver le texte intégral. Notre fragment en contient la brève démonstration, que suivent les énoncés et les démonstrations très sommaires de trois autres propositions, également nouvelles ; nous les nommerons, en les prenant dans l'ordre où les présente notre manuscrit, les propositions C, A et D. Enfin le tout se termine par la quatrième et dernière proposition du fragment publié par M. Curtze.

Les propositions A, B, C, D, rangées dans cet ordre, composent au *Livre du grave et du léger* une suite très logique, et d'une haute importance pour l'histoire de la Statique (2).

La proposition A peut s'énoncer ainsi : *Un fléau de balance étant primitivement parallèle à l'horizon, si ses deux*

(1) *Bibliothèque Nationale*, Ms. 10260 (fonds latin).

(2) Nous espérons pouvoir prochainement publier le texte de ces propositions, ainsi que les divers textes inédits dont il est question dans ce Chapitre.

extrémités tournent en même temps, leurs vertus seront en même rapport que les chemins qu'elles décrivent.

Cette proposition, où le mot vertu (*virtus*) se retrouve avec un sens voisin de celui qu'il a pris au *Livre du grave et du léger*, est accompagnée d'un très court commentaire. Sa parenté avec la démonstration de la loi du levier qu'a donnée Aristote dans ses Μηχανικὰ προβλήματα n'est point douteuse. Mais, à les considérer attentivement, on voit que les deux démonstrations sont, pour ainsi dire, inverses l'une de l'autre ; Aristote admet en principe que la vertu d'un poids pendu à un levier est proportionnelle à la vitesse avec laquelle se meut ce poids lorsqu'on fait tourner le levier et, de ce principe, il tire la condition d'équilibre de deux poids suspendus à des distances différentes du point d'appui. Notre auteur procède tout différemment ; ce qui était pour Aristote un premier principe devient pour lui une proposition qui fait l'objet d'une démonstration. En cette démonstration, d'ailleurs, il se borne à prouver que les chemins parcourus par les extrémités sont entre eux comme les bras du levier. La démonstration ne devient concluante que si l'on suppose précédemment établie la proportionnalité entre la vertu d'un poids suspendu à un levier et la distance de ce poids au point d'appui.

Notre proposition A devait donc être précédée de l'évaluation de cette *vertu* d'un poids suspendu à un fléau de balance, de l'établissement de la loi d'équilibre du levier. Sa rédaction même nous avertit qu'une lacune la précède et nous indique la nature des considérations qui pourraient combler cette lacune. Or, voici qu'un rapprochement s'impose ; cette lacune serait très exactement remplie par le *Livre de la balance* qu'a exhumé le Dr Woepcke ; débarrassé des démonstrations fausses qui sont venues l'altérer, ce livre nous fournirait l'établissement direct de la règle du levier, la preuve qu'un poids suspendu à un fléau de balance a une *vertu* ou une *puissance de poids* proportionnelle à sa distance au point de suspension. La

soudure semble se faire de la manière la plus naturelle entre notre proposition A et le *Livre de la balance* publié par le Dr Woepcke.

L'examen de la proposition B ne fait que confirmer l'opinion qui rapproche ces fragments.

Cette proposition est énoncée sous la forme d'un problème, visiblement suggéré par l'emploi de la balance romaine : *On prend un cylindre homogène ; on le divise en deux parties inégales et on le suspend par le point de division ; quel poids faut-il suspendre à l'extrémité du bras le plus court pour établir l'équilibre ?*

A partir du point de suspension, dit notre auteur, supprimons du grand bras une longueur égale au petit bras ; soit *ab* ce qui reste ; le poids cherché sera au poids du segment *ab* dans le rapport où la distance entre le milieu du segment *ab* et le point de suspension est au petit bras du fléau.

Pour justifier cette solution exacte, l'auteur se borne à cette courte remarque : « Car si l'on réunit en une seule masse la matière *ab* et si on la place au point milieu du lieu qu'elle occupait, le fléau demeure en équilibre comme précédemment. »

La démonstration implique donc ce principe : *Un cylindre homogène, étendu selon un bras du levier, pèse comme un poids égal qui serait suspendu à ce bras et qui s'attacherait au point situé au centre du cylindre.*

C'est visiblement pour justifier ce principe essentiel que l'auteur de notre fragment établit la proposition C.

Un bras de fléau, dit cette proposition, *porte quatre poids égaux et équidistants ; ils équivalent à un poids unique, égal à leur somme, et suspendu au point milieu de l'intervalle qu'ils occupent.*

Une ligne indique comment la démonstration de cette proposition peut se tirer de la loi d'équilibre du levier.

De la proposition C, ainsi établie, au principe dont se réclamait la proposition B, on devine comment notre

auteur établissait la transition ; il décomposait sans doute le cylindre en un grand nombre de petites tranches égales et admettait pour chacune de ces tranches ce qu'il voulait prouver du cylindre entier.

Ce procédé, d'ailleurs peu rigoureux, est celui que nous verrons constamment employé par les géomètres qui ont traité ces mêmes problèmes ; qu'il soit bien celui que notre auteur suivait implicitement, la démonstration de la proposition D ne permet guère d'en douter.

Voici cette proposition : *Le fait que le fléau d'une balance est un cylindre pesant ne change rien à l'allure des poids.*

En effet, dit à peu près le texte, le poids d'un certain segment de la colonne sera proportionnel à la longueur de l'axe de ce segment ; si donc on divise le fléau en segments égaux, à un poids pris sur un bras correspondra, sur l'autre bras, un poids égal situé à la même distance du point de suspension.

L'analyse de nos quatre propositions montre assez quelle en est l'importance pour l'histoire de la Mécanique ; il y avait donc intérêt à découvrir d'autres textes qui contrôlassent le premier et qui nous permissent d'en combler les lacunes.

Sous le n° 3642 (ancien 1258), la Bibliothèque Mazarine garde un manuscrit du XIIIe siècle ou, plutôt, une réunion de plusieurs manuscrits d'écritures et de formats différents.

Le premier de ces manuscrits, qui devait constituer une collection des plus précieuses, mais qui, malheureusement, est aujourd'hui fort incomplet, débute par ce titre :

Liber Arsamidis philosophi. — Astrologium Robi. — Planispherium Tholomei. — Liber Thebit. — Elementa Jordanis. — Liber Euclidis. — Divinationes.

A la suite, une longue table des matières nous donne la liste des nombreux traités que renfermait le recueil ; elle commence par ces mots :

In isto volumine libri subscripti continentur, cum capitulis eorundem et figuris.

Copions-en seulement le fragment suivant, relatif aux ouvrages qui vont nous occuper :

Incipiunt elementa Jordani super demonstrationem ponderis, cum cartulis et figuris.

Incipiunt excerpta de libro Thebith de ponderibus. — Incipit liber Euclidis de ponderibus secundum terminorum circumferentiam.

Divinationes.

De compoto.

Le titre même de ce « Livre d'Euclide sur les poids selon la circonférence décrite par les extrémités » semble une allusion fort nette à notre proposition A, partant à la pièce qui nous intéresse. Malheureusement, les feuillets qui devaient renfermer ce *Liber Euclidis* ont disparu. Au recto du douzième feuillet se trouve le titre, annoncé dans la table : *Incipiunt elementa Jordanis super demonstrationem ponderis ;* l'ouvrage ainsi annoncé continue au verso du même feuillet et n'est point encore terminé au bas de la page ; mais, brusquement, au feuillet 13, nous nous trouvons au milieu du traité *De compoto.*

Fort heureusement, nous avons pu trouver une copie des pièces qui font défaut au manuscrit de la Bibliothèque Mazarine ; cette copie est insérée dans un manuscrit conservé aujourd'hui à la Bibliothèque Nationale (1), autrefois propriété de la Sorbonne, à laquelle il avait été donné par « *Magister Franciscus Guillebon, Parrhisinus, Socius Sorbonicus et Doctor Theologus* ». Comme le manuscrit de la Bibliothèque Mazarine, ce recueil s'ouvre par le *Liber Arsamidis philosophi de mensura circuli ;* à la fin de ce traité se trouve cette mention : *Explicit liber Arsamidis. Scriptum 1519 ;* de même, les *Elementa Jordanis* qui figurent au même recueil se terminent par cette autre

(1) *Bibliothèque Nationale*, Ms. 16649 (fonds latin).

mention : *Finis. 1519. 2 S^a Maii* ; ces indications nous donnent la date de la collection scientifique dont Maître François Guillebon fut le détenteur.

A la suite du traité d'Archimède sur la mesure du cercle, le recueil contient trois opuscules ainsi intitulés :

Incipiunt elementa Jordani super demonstratione ponderum.

Incipit excerptum de libro Thebit de ponderibus.

Incipit liber Euclidis de ponderibus secundum terminorum circumferentiam.

Le libellé de ces titres, l'ordre dans lequel ils se succèdent suffisent déjà à suggérer l'idée que le recueil copié au XVIe siècle et donné à la Sorbonne par Maître François Guillebon, reproduit textuellement une partie de la collection, formée au XIIIe siècle, dont la Bibliothèque Mazarine conserve les débris; mais de cette idée, on peut donner une preuve absolument convaincante.

Le scribe auquel nous devons la collection de la Bibliothèque Mazarine maniait habilement la plume et le pinceau ; il excellait à enjoliver les majuscules et, au moment de commencer la copie des *Elementa Jordani*, il égayait la marge du parchemin d'une amusante figurine, esquissée en quelques traits pleins de verve ; mais les raisonnements géométriques qu'il devait reproduire en élégants caractères étaient sûrement pour lui d'insondables mystères. Si un feuillet manquait au texte original, le copiste continuait son œuvre, soudant l'un à l'autre deux morceaux disparates dont l'incohérence ne le choquait nullement. Ainsi fit-il en rédigeant les *Elementa Jordani*. Au milieu d'une démonstration appartenant à ce traité, le sens brusquement prend fin ; à un commencement de phrase appartenant aux *Elementa* est venue se souder la suite d'un raisonnement pris au traité *De canonio*, dont il sera question au § 3.

Or, cette étrange couture entre deux lambeaux incohérents, le scribe — il devait être allemand, à en juger par

son écriture — duquel Maître François Guillebon tenait son recueil l'avait servilement reproduite ; tels ces tailleurs chinois qui, copiant un vieux vêtement donné pour modèle, ont bien soin d'en répéter les déchirures et les taches sur le vêtement neuf. Erreur singulière, qui devait rendre bien inutile aux géomètres un écrit aussi étrangement composé; mais erreur heureuse, car elle nous assure que nous possédons une réplique servilement fidèle des feuillets manquant au *Codex Mazarineus*.

Le *Liber Euclidis de ponderibus secundum terminorum circumferentiam* porte ce sous-titre : *Liber Euclidis de ponderoso et levi et comparatione corporum ad invicem*, suivi de l'opuscule donné par de Herwagen, et republié par M. Curtze ; mais on n'y trouve pas les quatre propositions que le titre semblait nous promettre. Ces quatre propositions en ont été détachées et ce sont elles qui sont nommées *Excerptum de libro Thebit de ponderibus*. L'erreur n'a rien qui ne soit fort naturel. Le livre de Thâbit ibn Kurrah, dont traitera le prochain §, est une sorte de commentaire arabe de nos quatre propositions ; celles-ci pouvaient donc être prises pour un extrait de ce commentaire. La collection de Maître François Guillebon ne nous en donne pas moins le texte complet de ces quatre propositions, rangées dans l'ordre B, C, A, D où nous les avions déjà trouvées.

Nous avons, d'ailleurs, trouvé derechef ces propositions, ou du moins les trois premières, dans un manuscrit (1), d'origine italienne, qui paraît être de la fin du XVe siècle. Une des pièces contenues dans ce manuscrit commence par ces mots : *Incipit liber de ponderoso et levi* qui semblent annoncer le fragment connu depuis Herwagen; en réalité, ce fragment est remplacé par le *Liber de ponderibus* de Jordanus de Nemore ; mais, à la suite de ce dernier ouvrage, on a inséré nos propositions B, C, A.

(1) *Bibliothèque Nationale*, n° 11 217 (fonds latin).

En résumé, les textes, attribués à Euclide, que nous venons d'examiner, paraissent nous fournir trois fragments, plus ou moins bien conservés, de la science mécanique des Grecs.

Le premier de ces fragments est le *Liber de ponderoso et levi ;* conservé, semble-t-il, dans son intégrité, il expose avec une grande netteté le principe fondamental de la Dynamique péripatéticienne.

Le dernier se compose des *quatre propositions* que nous venons de signaler ; leurs démonstrations écourtées, l'ordre dans lequel elles se présentent et qui ne paraît point logique nous signalent de graves mutilations ; nous pouvons cependant y reconnaître un heureux essai pour relier la loi du levier à la Dynamique péripatéticienne, pour tenir compte du poids du levier et pour donner une théorie de la balance romaine.

Pour relier l'un à l'autre ces deux écrits, une théorie directe du levier semble nécessaire ; le *Livre de la balance* exhumé par le Dr Woepcke est peut-être l'écrit qui soudait l'un à l'autre les deux fragments précédents ; mais cet écrit, par de maladroites retouches, a été rendu presque méconnaissable.

Les débris dont nous venons de retracer les formes ébréchées et usées pouvaient donc s'agencer de manière à former une sorte de traité ; en ce traité se réunissaient la méthode d'Aristote et la méthode d'Archimède ; en outre, on y indiquait la solution d'un problème délaissé par le grand géomètre de Syracuse, le problème de la balance romaine. Ce traité était-il l'œuvre d'un seul géomètre, ou de plusieurs mathématiciens distincts ? Parmi ceux-ci doit-on faire figurer l'auteur des Éléments ? Questions difficiles à résoudre, mais au sujet desquelles nous relèverons bientôt quelques légères indications.

Montucla a écrit (1) : « Nous ne dirons rien du livre

(1) Montucla, *Histoire des Mathématiques*, Paris, an VII, t. I, p. 217.

De levi et ponderoso qu'on attribue aussi à Euclide. On ne peut comparer ce qu'il contient qu'au bégayement d'une Physique naissante. » Ce jugement donnerait une idée bien fausse de l'importance qu'il convient d'attribuer à l'œuvre dont nous venons de relever les vestiges. Nous allons voir que cette œuvre a exercé une profonde influence d'abord sur la science arabe, puis sur la science de l'Occident.

2. *Le* LIBER CHARASTONIS, *publié par Thâbit ibn Kurrah*

La plupart des bibliothèques (1) possèdent un ouvrage manuscrit intitulé : *Liber Charastonis, editus a Tebit filio Coræ.*

Le nom de l'éditeur, ou mieux du commentateur, est celui d'un des géomètres arabes les plus illustres. Grâce à Wüstenfeld (2), nous possédons sur sa vie un certain nombre de détails précis.

Thâbit ibn Kurrah ibn Marwân ibn Kârâya ibn Ibrâhîm ibn Mariscos ibn Salamanos (Abû al Hasan) al Harranî naquit en 836 à Harrân, en Mésopotamie. Il fut

(1) J'ai pu trouver cet écrit dans cinq recueils appartenant au *fonds latin* de la Bibliothèque Nationale, savoir les Mss. 7310, 7377 B, 7434, 8680 A, 10260. Steinschneider *(a)* en a trouvé un exemplaire dans le Ms. n° 184 de la Bibliothèque du couvent St-Marc de Florence et en a publié le commencement et la fin. M. Maximilien Curtze *(b)* a signalé la présence du même écrit dans deux Mss. de la Bibliothèque Vaticane, le Ms. *Regina Suecorum* 1235 et le Ms. 2975. Il l'a retrouvé dans le Ms. R. 4° 2 de la Bibliothèque de gymnase de Thorn ; d'après ce dernier exemplaire, il a publié les énoncés des théorèmes. Nous nous proposons de donner une édition du traité complet.

(a) Steinschneider, *Intorno al Liber Karastonis. Lettera a D. Baldassare Boncompagni* (ANNALI DI MATEMATICA, t. V, 1863, p. 54).

(b) Maximilian Curtze, *Ueber die Handschrift* R. 4° 2 : *Problematum Euclidis explicatio des Königl. Gymnasial Bibliothek zu Thorn* (ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, XIII^ter Jahrgang. Supplément, p. 45, 1868).

(2) Wüstenfeld, *Geschichte der Arabischen Aerzte und Naturforscher*. Sr. 20, n° 71 ; Göttingen, 1840. — Cf. Moritz Cantor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, Bd. I, p. 603 ; Leipzig, 1880.

d'abord changeur, puis se consacra à la science. Il acquit, à Bagdad, une grande réputation de mathématicien et d'astronome, en même temps qu'il s'adonnait à l'étude de la langue grecque, dont il parvint à faire usage aussi aisément que de l'arabe et du syrien. Cette parfaite entente du grec lui permit de traduire et de commenter les œuvres des princes de la science hellène, d'Apollonius de Perga, d'Euclide, d'Archimède, de Ptolémée et de Théodose. Il produisit également un grand nombre d'œuvres originales en Arithmétique, en Géométrie, en Astronomie et en Astrologie. Au bout d'un certain temps, il revint à Harrân, sa ville natale ; là, des épreuves l'attendaient ; il appartenait, en effet, à la secte des Sabians ; mais, comme il prétendait s'affranchir de certaines doctrines ou de certaines pratiques, il fut excommunié. Il revint alors à Bagdad, qu'il ne quitta plus. Le Khalife Almu'tadid (892-902) l'avait en grande considération et l'honorait de son commerce le plus intime. Tâbit ibn Kurrah mourut à Bagdad en 901.

Nous sommes donc exactement renseignés sur l'auteur du commentaire qui va nous occuper ; le traducteur même nous est probablement connu. Selon le prince Boncompagni (1), Gérard de Crémone (1114-1187) avait traduit de l'arabe en latin un *Liber Carastonis*. Steinschneider (2) a fort justement pensé que cette traduction était celle dont nous possédons de si nombreux exemplaires.

Mais si nous connaissons avec certitude l'auteur de notre commentaire et avec probabilité le traducteur de cet écrit, notre embarras devient extrême lorsqu'il s'agit d'en interpréter le titre. Comment devons-nous traduire *Liber Charastonis ?* Faut-il écrire *le livre de Charaston* ou *le livre de la balance ? Charasto* est-il le nom d'un géomètre grec ou le nom arabe de la *statera* des latins, de notre balance

(1) B. Boncompagni, *Della vita e delle opere di Gherardo Cremonese*, Rome, 1851.
(2) Steinschneider, *loc. cit.*

romaine ? Les deux opinions ont eu leurs tenants et le choix est malaisé.

Les copistes qui ont reproduit la version attribuée à Gérard de Crémone ont tous pris Charasto, Carasto, Kanisto ou Baracto (car toutes ces orthographes se rencontrent, parfois mêlées en une même copie) pour le nom d'un auteur. L'initiale majuscule du nom ne le marque pas moins que la forme de la phrase qui annonce le commencement ou la fin du livre : *Incipit liber Karastoni de ponderibus*, dit le Ms. 10 260 (latin) de la Bibliothèque Nationale.

Parfois même, le copiste a cherché à deviner quel pouvait être ce géomètre ; ainsi, la Bibliothèque Nationale conserve, sous le n° 7310 (latin), un manuscrit qui porte la date de 1604 ; ce manuscrit, dont les pièces paraissent avoir été copiées sur les pièces semblables contenues au Ms. 10 260, renferme, en particulier, le *Liber Charastonis*. Le scribe auquel nous devons ce recueil avait d'abord libellé le titre de la manière suivante : *Incipit liber Baractonis de ponderibus ;* puis, ne connaissant aucun géomètre grec qui répondît au nom ainsi déformé, il biffa *Baractonis* pour y substituer *Eratosthenis*, laissant ensuite Baracto, Carasto, Karasto et Charasto se partager ses préférences au cours du texte. Ces orthographes diverses ont d'ailleurs frappé un annotateur qui, au verso du premier feuillet, a écrit ces mots : « *Eratosthenis*, sic legitur in titulo. Verum, initio libri, auctor ex quo translatus est nominatur aliter et, versus finem, diserte dicitur Charaston. » L'annotateur considérait donc Charaston comme l'auteur dont Thâbit ibn Kurrah avait commenté l'œuvre.

Cette opinion a encore été partagée par des bibliographes modernes ; Heilbronner (1), en un de ses *Index*, fait figurer *Carasto* comme un nom d'auteur, et Hammer, dans son histoire de la littérature arabe, interprète de

(1) Heilbronner, *Historia Matheseos universae*, Lipsiae, 1742 ; Index III.

même les mots *Kitâb el Karstûn* que les traducteurs latins ont rendus par *Liber Karastonis*.

Cette opinion, selon M. Steinschneider (1), serait fort analogue à l'erreur du singe qui prenait le Pirée pour un nom d'homme ; *Karastûn* ne serait qu'une altération du mot arabe *Karstûn;* selon Fleicher, cité par Steinschneider, ce mot peu usité, et venu, peut-être, par l'intermédiaire du syriaque, du mot grec χεὶρ, *main*, signifierait la balance romaine ; Kitâb el Karstûn, *liber Karastonis*, devrait se traduire non *le livre de Charaston*, mais *le livre de la romaine*.

L'interprétation du mot Karaston, proposée par M. Steinschneider, a été adoptée par M. Heiberg (2) et par M. Maximilien Curtze (3). Selon ce dernier auteur, le *Traité de la balance* exhumé par M. Woepcke et attribué par lui à Euclide, tandis que certains manuscrits en font une œuvre des *trois frères*, serait identique au *Kitâb el Karstûn* composé par les Benî Moûçâ, et dont M. Steinschneider signale l'existence d'après Casiri et d'après Hammer ; en outre, la comparaison du *Liber Karastonis* de Thâbit avec le *Traité de la balance* traduit par Dr Woepcke montrerait, dans le premier de ces deux ouvrages, un simple développement du second.

La lecture du *Liber Karastonis* serait peut-être (je ne sais si les érudits s'en sont doutés) le meilleur moyen de tirer au clair cette question.

Qu'à la fin de cet écrit, le mot *Charasto* ou *Karasto* soit pris dans le sens de *balance romaine*, cela ne saurait faire l'ombre d'un doute. Après avoir montré comment on pourra calculer le poids du plateau qui, pendu au petit

(1) Steinschneider, *Intorno al Liber Karastonis. Lettera a D. Baldassare Boncompagni* (ANNALI DI MATEMATICA, t. V, 1863, p. 54).

(2) Heiberg, *Litterargeschichtliche Studien über Euklid*, Leipzig, 1882, p. 11.

(3) Maximilian Curtze, *Das angebliche Werk des Euklides über die Waage* (ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, XIXer Jahrgang, p. 263 ; 1874).

bras de la romaine, compensera l'excès de pesanteur du grand bras. Thâbit ajoute : « Nous diviserons le grand bras en segments qui soient dans un rapport connu avec le petit bras. Alors on saura ce que pèse un poids pendu à une division quelconque *du charaston engendré* (generati carastonis) par ce procédé, d'après la règle précédemment établie pour le cas où le fléau se réduit à une simple ligne. »

Une impression bien différente est reçue lorsqu'on lit l'épître dédicatoire adressée par Thâbit à un personnage qu'il nomme son frère ; traduisons le début de cette épître :

« Que Dieu continue ta conservation, et qu'il multiplie la proportion de ton salut, afin que je ne sois pas privé d'un frère tel que toi ; qui aiguillonne les esprits par sa curiosité ; qui excite l'âme à la spéculation ; qui, par sa propre nature, imprime la science ; qui s'aiguise lui-même ; qui retourne ce qui s'oppose à l'assimilation d'un sujet, et qui, de ce sujet, expose ce qu'il faut.

» J'ai lu, ô mon frère ! la lettre sur ce que j'ai dit touchant ton examen des *Causae Karastonis*, avec les traces que tu as relevées en celui-ci et les figures que tu as construites à propos de lui ; ces choses, tu les a trouvées lorsqu'abandonnant tout autre sujet de recherches, tu as fait de celle-ci ton occupation exclusive et, sur ces recherches, tu as fort bien exercé ta méditation. Parmi les passages obscurs, inacceptables aux intelligences, j'ai tenté une épreuve. J'ai donc tenu compte, ô mon frère, du changement de langue des traducteurs et des caprices de la main des copistes. J'ai longuement hésité à ce sujet, car toi-même tu n'as pu rendre ton opinion sauve de toute interprétation erronée. Tu m'as demandé de te donner de lui une exposition, écrite dans un langage facile, où ses intentions soient mises au jour, par des méthodes qui abrègent la longueur de son discours et allègent la difficulté de son raisonnement. Je te répondrai donc au sujet de ce que tu m'as demandé, et je te parlerai enfin

des choses au sujet desquelles tu veux être éclairé, avec des indications suffisantes et de saines démonstrations. Tu connaîtras donc où se trouve l'erreur, et à partir de quelle origine elle s'est multipliée jusqu'à s'emparer, en quelque sorte, de tout l'ensemble. A quel point elle est répandue, tu le sais déjà.

» Que Dieu te dirige et qu'il illumine l'intelligence de ton cœur !

» Que l'absence de figures géométriques dans les *Causae Karastonis* ne soit pas une excuse... »

Il résulte de ce passage que Thâbit se propose de restituer une forme claire à un écrit devenu incompréhensible par la faute des copistes et des traducteurs ; ce n'est donc point un écrit arabe qu'il s'agit de commenter, un traité dû aux Benî Moûçâ, mais bien un écrit grec ; et il paraît bien difficile d'interpréter les phrases que nous avons citées sans voir dans les mots *Causae Charastonis* le titre de l'ouvrage et le nom de l'auteur, sans traduire ainsi ces mots *Le livre des causes, par Charaston.*

Si donc, en divers passages qui se trouvent à la fin de notre manuscrit, le mot *Charasto* signifie assurément la balance dite romaine, il semble bien, au début du même ouvrage, désigner un mécanicien grec. Y a-t-il après tout, dans ce double sens, rien qui doive étonner ? Ne voit-on pas chaque jour, dans les arts mécaniques, un instrument prendre le nom de celui qui l'a créé ou perfectionné ? Nos descendants ne pourraient-ils pas éprouver quelque embarras en cherchant si *Vernier* fut un homme ou une règle divisée ? Et, dans nos laboratoires, ne faisons-nous pas les pesées grossières sur la *Roberval*, sans que Roberval cesse d'être le nom d'un illustre géomètre ?

Il nous semble donc probable que Charaston désigne le nom d'un auteur grec, qui avait écrit un traité sur la balance romaine à laquelle on aurait donné son nom ; ainsi s'expliquerait, pour désigner la balance, l'existence en langue arabe de ce synonyme d'origine grecque : Karstûn.

De ce géomètre grec, nous est-il possible de découvrir quelque autre vestige ?

Nous lisons dans Montucla (1) :

« Plusieurs des livres de Ptolémée sont accompagnés de cette adresse : *ad Syrum fratrem ;* ce qui prouve qu'il avait un frère de ce nom, qui était probablement versé en astronomie, peut-être un coopérateur de ses observations et de ses calculs.

» Je lui ai aussi déterré un fils nommé Hériston, duquel on peut former le même jugement. C'est dans le titre d'un livre extrêmement rare, imprimé à Venise en 1509 sous ce titre : *Sacratissimae astronomiae Ptolomei liber diversarum rerum quem scripsit ad Heristonem filium suum...* »

Kästner, qui a eu entre les mains ce *livre rarissime* (2), nous en a donné une description minutieuse (3) et un résumé. C'est un in-4°, écrit en caractères gothiques, dont le titre complet est : *Sacratissime astronomie Ptholemei liber diversarum rerum, quem scripsit ad Heristonem filium suum, tractans compendiose de diversis rebus, ut habetur in tabula que est in principio istius libri. MDVIII. Felicibus astris prodeat in lucem, ductu Petri Liechtenstein. Cum privilegio.* A la fin du livre, se trouvent ces lignes : *Explicit liber diversarum rerum Ptholemei philudiensis Alexandrini, astronomorum principis clarissimi. Anno virginei partus 1509, die tertio aprilis. Venetiis, in edibus Petri Liechtenstein Coloniensis Germani.*

Ainsi donc, selon le livre imprimé par Pierre Liechtenstein, Ptolémée aurait eu un fils, versé en astronomie, du nom d'Hériston. Hériston n'est pas Charaston ; mais la différence est faible ; elle le semblera surtout à ceux qui connaissent les déformations étranges qu'ont subies les

(1) Montucla, *Histoire des Mathématiques*, t. I, p. 314 ; Paris, An VII.

(2) J. Graesse, *Trésor de livres rares et précieux*, t. V.

(3) *Geschichte der Künste und Wissenschaften seit der Wiederherstellung derselben bis an das Ende des achtzehnten Jahrhunderts.* VIIIe Abtheilung : *Geschichte der Mathematik*, von A. G. Kästner, Bd. II, p. 688 ; 1797.

noms grecs traduits d'abord en arabe et de l'arabe en latin. Steinschneider (1) a signalé quelques-unes de ces déformations : « Héron est devenu Iran et Iranius, Menelaüs s'est transformé en Milleius ; Achimedes tantôt en Arsamites, tantôt en Aramides, tantôt en Archimenides ». Pour nous, nous avons rencontré du nom d'Archimède ces formes diverses : Arsamides, Arsanides, Ersemides [Bibl. Nat. 16 649 (lat.) — Bibl. Mazar. 3642], Arsamithes [Bibl. Nat. 9335 (lat.)], Alaminides [Bibl. Nat. 10 252 (lat.)]. Que Charaston fût devenu Hériston, il n'y aurait rien là qui nous puisse surprendre.

Mais le véritable nom de l'auteur qui nous occupe n'est point Charaston, ni Hériston ; ce nom se doit très vraisemblablement lire *Charistion*, Χαριστίων.

Ouvrons n'importe quel dictionnaire grec au mot χαριστίων, et nous y trouverons ce renseignement : sorte de balance inventée par Archimède ; le dictionnaire de Bailly (2) nous dira, en outre, que le terme a été employé par Simplicius en ses Commentaires à la Physique d'Aristote.

Le seul passage où Simplicius (3) ait employé ce mot nous donne, d'ailleurs, des renseignements précieux. Simplicius y commente l'axiome fondamental de la Dynamique péripatéticienne, la proportionnalité de la puissance motrice au poids mû et à l'espace parcouru en un temps donné ; il se propose de discuter les restrictions qu'il convient d'apporter à cet axiome ; et, à ce propos, il nous dit qu' « Archimède, en se fondant sur cette proportionnalité entre la puissance motrice, le poids mû et l'espace parcouru, avait composé un instrument propre à peser qui est nommé *charistion*. — Ταύτῃ δὲ τῇ ἀναλογίᾳ τοῦ κινοῦντος καὶ

(1) Steinschneider, *Hebraïsche Bibliographie*, Bd. VII, p. 92 ; 1864. Cf. Moritz Cantor, *Geschichte der Mathematik*, Bd. I, p. 604 ; Leipzig, 1880.

(2) Bailly, *Dictionnaire grec-français*, Paris, 1895.

(3) Simplicii *in Aristotelis Physicorum libros quatuor posteriores commentaria ; Commentaria in Physicorum* VII, 5 (Édition Diels, Berlin, 1895, p. 1110).

τοῦ κινουμένου καὶ τοῦ διαστήματος τὸ σταθμιστικὸν ὄργανον τὸν καλούμενον χαριστίωνα συστήσας ὁ Ἀρχιμήδης... »

Ainsi, du temps de Simplicius (vi^e siècle), non seulement on donnait à la balance romaine le nom de *charistion*, mais encore il était d'usage d'en rattacher la théorie aux principes dynamiques admis par Aristote, ce qui est précisément l'objet des divers écrits que nous analysons ; et, de plus, on avait oublié l'auteur de ces considérations mécaniques, puisqu'on les attribuait à Archimède, alors que l'illustre syracusain avait employé, dans l'analyse de semblables problèmes, de tout autres méthodes.

Que cet auteur se soit précisément nommé Χαριστίων, *Charistion ;* que, par un phénomène bien fréquent dans les arts mécaniques, l'instrument ait pris le nom de celui qui l'avait inventé ou étudié, cela ne paraît point douteux. Comment expliquer, sans cela, que la racine χάρις, *grâce*, ait pu fournir le nom d'une balance ? Quoi de moins étonnant, au contraire, que de voir cette même racine fournir un nom propre, alors qu'elle a déjà fourni (1) le nom de femme Χαριτώ et les noms d'homme Χαρισθένης, Χαρισιάδης, Χαρίσιος, Χαρίστιος et Χαρίτων ?

Certains auteurs, il est vrai, ont cru que χαριστίων désignait non pas la balance romaine, mais un guindeau propre à hâler les vaisseaux sur le rivage. Le texte de Simplicius est cependant formel, et les mots σταθμιστικὸν ὄργανον ne peuvent s'entendre que d'une balance.

On pourrait supposer que Charistion a également donné son nom à un appareil en usage dans les ports ; mais il me semble plus probable qu'il s'agit ici d'une confusion de date récente.

Selon Simplicius, c'est l'invention du charistion qui aurait porté Archimède à s'écrier : « πᾶ βῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν. Un point de départ, et je remue la Terre ». De même,

(1) Bailly, *Dictionnaire grec-français ;* Paris, 1895.

Tzetzes (1) lui attribue ce propos : « πᾶ βῶ καὶ χαριστίωνι τὰν γᾶν κινήσω πᾶσαν ».

Ce propos s'applique admirablement à la romaine, où un petit poids, pendu au grand bras du fléau, soulève un grand poids, pendu au petit bras.

Toutefois, d'autres auteurs ont pensé que ce propos d'Archimède n'avait point trait à la romaine. Plutarque, qui lui donne la forme : « Δός μοι ποῦ στῶ καὶ τὰν γᾶν κινάσω », ne dit point à quelle machine il avait trait. Pappus, plus explicite, déclare (2) qu'Archimède s'écria : « Δός μοι ποῦ στῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν » dans sa joie d'avoir combiné un puissant guindeau ; il donne la description de ce guindeau où, par l'emploi de multiples engrenages, une petite puissance peut mouvoir une grande résistance ; il assure, d'ailleurs, qu'il emprunte cette description à Héron d'Alexandrie.

Cet instrument est, en effet, décrit par Héron d'Alexandrie (3), qui ne le donne point comme étant d'Archimède. Mais ni Héron d'Alexandrie, ni Pappus, n'attribuent à ce guindeau le nom de χαριστίων, ce qu'ils n'eussent point manqué de faire s'il eût été ainsi nommé, de leur temps, à Alexandrie.

Sans doute, les passages où le mot célèbre d'Archimède sur la possibilité de mouvoir le monde est donné comme ayant trait au χαριστίων ont été rapprochés de ceux qui font de ce mot une allusion au guindeau ; on en a alors conclu, bien à tort, que le *charistion* était le guindeau. Nous ne saurions nommer avec précision l'auteur de cette confusion. Nous savons seulement qu'elle est acceptée

(1) Tzetzes, Τῶν χιλιάδων B (CORPUS POETARUM GRÆCORUM, t. II, Genève 1614). — Tzetzes vécut à Constantinople de 1120 à 1180 environ.

(2) Pappi Alexandrini *collectionis quae supersunt*, edidit F. Hultsch. Lib. VIII, Propos. XI, p. 1060; Berlin, 1888.

(3) A. J Vincent, *Géométrie pratique des Grecs* (NOTICES ET EXTRAITS DES MANUSCRITS DE LA BIBLIOTHÈQUE IMPÉRIALE, t. XIX, 2e partie, p. 330). — Carra de Vaux, *Les Mécaniques ou l'Élévateur de Héron d'Alexandrie*, publié pour la première fois sur la version arabe de Qostâ ibn Lûkâ. Livre I, art. I, Paris, 1894.

par Stevin (1); Stevin nous apprend que la description du *charistion* avait été retrouvée par Jacques Besson.

Pour nous, l'opinion de Stevin n'est point fondée, et χαριστίων désigne la *balance romaine*.

Tenons donc pour certain que le livre grec dont Thâbit ibn Kurrah a entrepris la restitution était l'œuvre d'un géomètre alexandrin, du nom de Charistion, qui était probablement fils de Ptolémée ; que la balance romaine, étudiée par cet auteur, en prit le nom, en grec d'abord, puis en arabe, où elle fut appelée *karstûn* ; enfin que les caprices des traducteurs ont tiré de ce nom les deux formes Charaston et Hériston.

L'étude de l'œuvre de Thâbit nous apportera encore quelques nouveaux renseignements.

Tout d'abord, Thâbit nous apprend que l'écrit dont il entreprend le commentaire est intimement lié au *livre attribué à Euclide* : « Hoc autem capitulum innixum est super librum qui dicitur Liber Euclidis ». A ce livre, il renvoie celui qui voudra des renseignements détaillés ; il se contentera, à titre d'introduction, de rappeler de ce livre ce qui est nécessaire à l'intelligence de l'écrit qu'il va étudier.

Ces déclarations précèdent immédiatement l'énoncé suivant : *Les espaces que deux mobiles parcourent en un même temps sont entre eux comme les vertus de ces deux mobiles* ; aucune démonstration ne suit cet énoncé ; un exemple suffit à l'éclairer. Or cet énoncé formule l'axiome fondamental de la Dynamique péripatéticienne, et cela, dans les termes mêmes où il figure au traité *De ponderoso et levi*. Nous voici donc assurés que Thâbit connaissait le petit écrit *De ponderoso et levi* ; que, de son temps, cet écrit portait déjà le nom d'Euclide ; enfin que les *Causes* de *Charistion* avaient ce livre pour fondement.

(1) *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, conscriptus a Simone Stevino brugensi. Liber III : De Staticæ praxi, p. 101.

De cet axiome à la loi de l'équilibre du levier, Thâbit passe par deux propositions qui développent simplement, avec beaucoup de précision, la démonstration de cette loi telle qu'elle est indiquée aux Μηχανικὰ προβλήματα d'Aristote.

Au cours de ces démonstrations, le levier est supposé sans pesanteur ; il en est encore de même au cours des deux propositions suivantes :

Si le fléau d'une balance en équilibre porte deux poids égaux suspendus à des distances inégales du point d'appui, on pourra, sans rompre l'équilibre, remplacer ces deux poids par un poids unique, égal au double de chacun d'eux, et suspendu au milieu de l'intervalle qui sépare leurs points de suspension.

De même, si l'un des bras du fléau d'une balance en équilibre porte un certain nombre de poids égaux entre eux, pendus en des points équidistants les uns des autres, l'équilibre demeurera assuré si l'on remplace tous ces poids par un poids unique, égal à leur somme, et suspendu au milieu de l'intervalle qui contient tous les premiers points de suspension.

De cet énoncé général, Thâbit donne la démonstration en supposant que le nombre des poids à réunir soit quatre ; mais, visiblement, la démonstration est aisée à généraliser.

Ces propositions, vraies pour des fléaux sans pesanteur, cessent de l'être si le fléau est une règle d'une certaine épaisseur et d'une certaine pesanteur, dont les deux bras ne sont point égaux. Thâbit se propose de montrer comment on peut ramener ce cas, qui est celui de la balance romaine, à la considération d'un fléau sans pesanteur.

Dans ce but, il considère d'abord un fléau réduit à une ligne sans épaisseur, dont une partie est recouverte par un cylindre pesant ; il se propose de prouver que ce cylindre équivaut à un poids égal, suspendu au point marqué par le centre du cylindre. La démonstration, tirée de la proposition qui précède celle-ci, revient, en somme, à admettre pour certaines portions du cylindre ce que l'on veut prouver du cylindre tout entier.

Cette proposition admise, il devient aisé de démontrer celle-ci : Un fléau cylindrique, homogène, pesant, *ab* (*fig. 16*) dont les bras *ag*, *bg* sont inégaux, peut être maintenu parallèle à l'horizon en suspendant un certain poids *e* à l'extrémité du petit bras *ga* ; si *bd* est l'excès du grand bras sur le petit bras, si *u* est le point milieu de *bd*, le poids *e* sera au poids du segment *bd* comme la longueur *gu* est à la longueur *ga*.

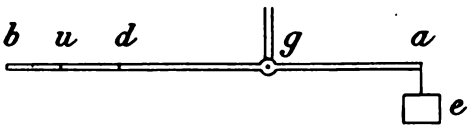

fig. 16.

Thâbit en tire cette règle : Si p est le poids total du fléau, le poids e est donné par la formule

db

$$e = p\,\frac{\overline{ab}}{2\overline{ga}}\,. \tag{1}$$

Ce poids étant connu, on pourra suspendre au petit bras de la balance un plateau qui le représente exactement ou bien encore placer à l'extrémité de ce bras une surcharge égale ; sur le *karaston* ainsi constitué, on pourra raisonner désormais comme sur un fléau sans poids.

« Et maintenant, ô mon frère, ajoute le géomètre arabe, je t'ai exposé ce qui est capable de seconder le travail de ton esprit, de t'aider en l'œuvre de la connaissance, de te donner de saines idées à la lumière de la vérité et de porter ton âme à poursuivre son étude... Cet art est donc appuyé par les démonstrations et l'expérience le vérifie. Lors donc que tu feras usage de ce qu'il a démontré, lorsque tu auras compris par leurs démonstrations ce que nous avons énoncé en commençant, ce que nous t'avons exposé te fera franchir la borne de l'hésitation, te gardera d'une assimilation erronée, te fera

voir où se trouve la rectitude et te fera reconnaître les endroits où l'on peut tomber en erreur. Donc c'est la fin. »

Cette courte analyse nous montre clairement que le remarquable écrit de Thâbit n'est, en aucune façon, un développement du *Traité de la balance* traduit par le Dr Woepcke. En revanche, il tient par les liens les plus étroits aux quatre propositions dont nous avons signalé l'existence et résumé le contenu ; l'analogie est telle qu'un copiste a pu prendre ces quatre propositions pour un résumé du livre de Thâbit.

Une divergence, cependant, mérite d'être signalée. Thâbit tire la démonstration de la loi d'équilibre du levier de l'axiome fondamental de la Dynamique péripatéticienne : il la tire en suivant exactement la méthode indiquée dans les *Questions mécaniques* d'Aristote ; la marche esquissée par l'auteur de la proposition A est tout autre ; elle suppose que la loi d'équilibre du levier a été établie directement et elle en déduit l'extension au levier de la loi de Dynamique énoncée dans la Φυσικῆς ἀκρόασις et dans le Περὶ οὐρανοῦ d'Aristote, ainsi que dans le *Liber de ponderoso et levi* attribué à Euclide. Tandis que l'écrit de Thâbit se rattache immédiatement au *De ponderoso et levi*, il faut nécessairement, entre ce livre et nos quatre propositions, placer un intermédiaire ; nous l'avons dit, ce fragment intermédiaire pourrait bien être la source qui a donné naissance à la pièce publiée par le Dr Woepcke.

Si donc nos quatre propositions ont la plus étroite parenté avec l'écrit grec que Thâbit s'est proposé de reconstituer, elles ne paraissent pas représenter cet écrit même. Une autre considération fortifie cette opinion : Thâbit ne parle pas seulement de l'obscurité de l'écrit qu'il commente, mais aussi de sa prolixité ; il se propose de l'abréger ; il ne saurait être question de nos quatre propositions, dont les démonstrations sont réduites à quelques indications d'une extrême concision.

Nos quatre propositions ne semblent donc pas être un

débris des *Causae Charastonis ;* elles en seraient plutôt un résumé ; ou, plus probablement, elles représenteraient un thème plus ancien, dont Charistion aurait écrit un commentaire développé et légèrement modifié.

Ces remarques suggèrent une hypothèse; Ptolémée avait écrit un traité *Sur les poids*, Περὶ ῥοπῶν, qui nous est inconnu. Thurot avait déjà émis la supposition (1) que certains fragments parvenus jusqu'à nous, notamment le *De ponderoso et levi* attribué à Euclide, pouvaient bien être des débris du Περὶ ῥοπῶν. Cette supposition ne pourrait-elle être exacte en ce qui concerne nos quatre propositions (2), en ce qui concerne également l'écrit dont le *Traité de la balance*, publié par Woepcke, est une déformation ? Charistion se serait alors borné à développer et à rattacher plus étroitement à la méthode péripatéticienne le Περὶ ῥοπῶν composé par son père.

3. *Le Traité* DE CANONIO

Un seul *liber Karastonis*, celui de Thâbit ibn Kurrah, a été traduit en latin; mais il n'est pas le seul *Kitâb el Karstûn* qu'aient écrit des géomètres arabes; dans l'article que nous avons cité à plusieurs reprises, Steinschneider en énumère quatre, dont les index et les catalogues de bibliothèques lui ont révélé l'existence. Ces traités sont les suivants :

1° Un *Kitâb el Karstûn* dû aux *trois frères*, aux Beni Moûça ;

2° Un *Kitâb el Karstûn* dû à Thâbit ibn Kurrah ;

3° Un *Kitâb el Karstûn* dû à un philosophe et médecin célèbre, de race arabe mais de religion chrétienne,

(1) THUROT, *Recherches historiques sur le Principe d'Archimède* (REVUE ARCHÉOLOGIQUE, nouvelle série, t. XIX, 1869, p. 117).

(2) Le traité du pseudo-Archimède pourrait également être un débris de ce Περὶ ῥοπῶν.

Kûstâ ibn Lûkâ, qui vécut de 864 à 923 et fut, par conséquent, contemporain de Thâbit ;

4° Un *Kitâb el Karstûn* dû à Abû'Alî al Hasan ibn al Hasan ibn Alhaitam que son *Optique*, traduite en latin, a rendu célèbre sous le nom d'Alhazen, et qui mourut en 1038.

Si l'on admet, avec M. Curtze, que le *Kitâb el Karstûn* attribué aux Benî Moûça soit identique au *Traité de la balance* traduit par le Dr Woepcke, il reste encore deux traités de ce titre qui ne nous sont point connus.

On pourrait être tenté de croire que l'un de ces traités est représenté par le livre *De canonio* dont notre Bibliothèque Nationale possède un texte dans son Manuscrit 8680 A (fonds latin) et un autre texte, remanié, dans le Manuscrit 7378 A (fonds latin); dont enfin un important fragment se trouve si singulièrement soudé au texte de Jordanus dans le Manuscrit du XIIIe siècle que la Bibliothèque Mazarine conserve sous le n° 3642, et que nous avons signalé au § 1 ; fragment reproduit dans la collection (1) donnée à la Sorbonne par Maître François Guillebon.

Mais un examen plus détaillé de ce traité conduit à penser que nous avons affaire non seulement à un traité d'origine grecque, mais encore à un traité qui aurait été directement traduit du grec en latin, sans passer par l'intermédiaire de l'arabe.

Les lettres employées dans les figures se présentent ainsi

a, b, g, d, e, z, i, t,

rappelant, par leur ordre, l'alphabet grec auquel elles ont été empruntées ; mais l'η a été représenté non point par l'*h*, comme dans les écrits qui ont passé du grec au latin par l'intermédiaire de l'arabe, mais par l'*i* ; ce détail

(1) *Bibliothèque Nationale*, Ms. 16 649 (fonds latin).

semble indiquer que le traducteur connaissait la prononciation de l'η déjà usitée chez les Grecs du moyen âge.

En outre, les mots grecs simplement transcrits, et non traduits, abondent dans ce petit écrit. Pour désigner un fléau de balance d'épaisseur non négligeable, le traducteur qui a fait passer de l'arabe en latin les quatre propositions étudiées au § 1 dit *longitudo teres* ; le traducteur de Thâbit dit *perpendicularis cum crassitie* (ou *crossitie* ou *grossitie)* ; Jordanus, qui écrit directement en latin, dit *oblongum* ou *regula* ; notre traité conserve le mot κανὼν, qu'il latinise simplement en *canonium*. Une ligne parallèle à l'horizon est dite, dans tous les autres écrits que nous avons cités, *parallela orizonti* ; ici, elle est dite *parallela epipedo orizontis*, formule sous laquelle transparaît le nom grec du plan, τὸ ἐπίπεδον. Non seulement nous trouvons dans le livre *De canonio* le mot *parallelogrammum*, mais un triangle, au lieu d'y être appelé *triangulus*, y est nommé *trigonium*, τρίγωνον (1). Enfin, *demonstratio* y est parfois remplacé par *apodixis* (απόδειξις).

Il est clair que l'écrit dont nous allons parler est la reproduction directe d'un texte grec ; son contenu, comparé à ce que Thâbit ibn Kurrah nous a appris de l'ouvrage de Charistion, nous montre que le traité *De canonio* est ou bien une réplique de cet ouvrage, ou mieux un écrit destiné à le compléter et à donner une élégante solution géométrique du calcul auquel Charistion avait été conduit.

L'objet du petit traité *De canonio* est la solution du problème auquel aboutissent les *Causae Charistionis*, telles que Thâbit nous les a conservées : Quel poids faut-il suspendre à l'extrémité du petit bras d'un fléau de romaine pour corriger l'excès de pesanteur du grand bras et pour pouvoir raisonner sur cet instrument comme si le fléau était une ligne sans poids ?

(1) Et même *tetragonium* dans le texte du XIIIe siècle, n° 3642, de la Bibliothèque Mazarine.

L'auteur ne reprend point l'établissement de la loi du levier ; il ne se propose pas davantage de démontrer qu'une portion de cylindre grave, dirigé suivant le fléau, a même pesanteur qu'un corps de même poids suspendu au point qui marque le centre du cylindre ; ces propositions, il les regarde comme acquises. A l'égard de la seconde, il renvoie aux écrits de ses prédécesseurs : « Monstratum est in libris qui de his loquuntur quoniam nulla est differentia, sive pondus *db* sit equaliter extensum super totam lineam *db*, sive suspendatur a puncto mediæ

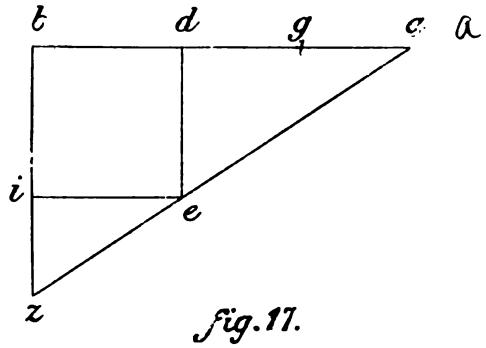

fig. 17.

sectionis ». A l'égard de la première, le texte du Ms 8680 A porte : « Sicut demonstratum est ab Euclide, et Archimede, et aliis, et hæc est radix circa quam versantur omnes ». Au Manuscrit 7378 A, cette indication a disparu, comme nous le verrons au Chapitre VII, 1.

Ainsi allégé de tous les préliminaires, le traité *De canonio* se réduit à quatre théorèmes.

Le premier de ces théorèmes est identique à celui qui termine le livre de Thâbit ; il a pour objet de dire suivant quelle règle on calculera le poids propre à compenser l'excès de pesanteur du grand bras de la romaine. Il suffit de comparer les deux énoncés pour constater qu'ils représentent deux traductions d'un même texte grec primitif. L'exemple numérique auquel la formule est appliquée est aussi le même dans les deux écrits. Très certainement,

nous avons affaire à l'une des propositions du livre de Charistion.

Le second théorème est une réciproque du premier ; l'énoncé et la démonstration étaient vraiment superflus.

Au troisième théorème, l'auteur se propose de trouver un cylindre, de même diamètre et de même matière que le fléau, qui pèse exactement comme le poids compensateur ; voici par quelle construction élégante il trouve la hauteur de ce cylindre :

Soit *ab* (*fig. 17*) le fléau ; soient *g* le point de suspension, *ga* le petit bras, *gb* le grand bras. A partir du point *g*, prenons sur le grand bras *gb* une longueur *gd* égale au petit bras *ga* ; par le point *d*, élevons à *ab* une perpendiculaire *de* égale à *bd* ; joignons *ae* et prolongeons cette ligne jusqu'à ce qu'elle rencontre en *z* la perpendiculaire élevée à *ab* par l'extrémité *b* du grand bras ; *bz* sera la longueur cherchée.

La démonstration de ce théorème se tire aisément de la formule (1) qui traduit, en notre langage actuel, le premier théorème du *De canonio*.

De cette construction, l'auteur tire la solution de ce problème : Connaissant le fléau et le poids qui doit compenser l'excès de pesanteur du grand bras sur le petit bras, déterminer la place du point de suspension.

La réponse à cette question forme le quatrième et dernier théorème de ce petit écrit, relique élégante de la méthode par laquelle les Alexandrins traitaient la Mécanique.

CHAPITRE VI

LA STATIQUE DU MOYEN AGE. JORDANUS DE NEMORE

Le fragment *De ponderoso et levi*, attribué à Euclide; les quatre propositions nommées *Liber Euclidis de ponderibus secundum terminorum circumferentiam ;* le traité *De canonio;* le *Liber Karastonis* publié par Thâbit ibn Kurrah; tels paraissent être, avec les *Quæstiones mechanicæ* d'Aristote, les seuls débris de la Statique hellène qui aient été utilisés par les géomètres du moyen âge. De la méthode d'Archimède, ils ne paraissent pas avoir eu connaissance; ils ne l'ont jamais suivie en leurs travaux. Quant aux Arabes, ils semblent n'être intervenus que pour transmettre aux Occidentaux les reliques de la science alexandrine.

Nous allons voir, maintenant, l'intelligence occidentale s'emparer de ces débris et les incorporer aux systèmes mécaniques qu'elle va construire. Nous allons assister à un travail de transformation et d'organisation, prodigieusement intense et puissant, qui produira la Statique moderne. Or, à ces efforts géniaux par lesquels le moyen âge va créer quelques-unes des idées dont la fécondité n'est point encore épuisée, il nous est presque toujours impossible d'attacher le nom d'un auteur; ceux qui les ont produits sont à tout jamais oubliés; leurs découvertes sont venues grossir l'œuvre de l'un d'entre eux, qui fut sans doute leur maître; mais, si le nom de ce dernier nous est parvenu, aucun renseignement certain ne nous permet d'esquisser quelques traits de l'homme que fut Jordanus de Nemore.

1. *Que savons-nous de Jordanus de Nemore?*

« Jordanus Nemorarius, qui vécut vers l'an 1230, dit Montucla (1), fut un homme très intelligent en géométrie et en arithmétique. » Chasles écrit (2) également : « Jordan était un très savant géomètre qui a écrit sur toutes les branches des mathématiques, même sur la Statique, partie dans laquelle il n'a eu que très tard des imitateurs. A la Renaissance, Jordan était très connu des géomètres italiens ; Lucas de Burgo le cite souvent. »

L'*Arithmétique* de Jordanus ou Jordanis paraît avoir été un écrit tout à fait classique dès le XIIIe siècle, si l'on en juge par le grand nombre de manuscrits de l'*Arismetica* ou des *Elementa Arismetice* que l'on trouve dans les diverses bibliothèques. Aussi cet ouvrage fut-il imprimé de bonne heure par les soins de Lefèvre d'Étaples (Faber Stapulensis) qui, sans altérer le texte de Jordanus, y ajouta de nouveaux théorèmes avec ses propres démonstrations. L'édition (3), sous forme d'un in-folio gothique, parut à Paris en 1496. Une seconde édition, due également aux soins de Lefèvre d'Étaples, fut faite en 1514.

Jordanus a composé, sous le titre *De numeris datis* ou *De lineis datis*, un traité dont Regiomontanus parle (4) en termes élogieux : « Tres libros de datis numerorum pulcherrimos edidit Jordanus ». Maurolycus n'attachait pas

(1) Montucla, *Histoire des Mathématiques*, t. I, p. 506 ; Paris, an VII.

(2) Chasles, *Histoire de l'Algèbre. Sur l'époque où l'Algèbre a été introduite en Europe*. (COMPTES RENDUS, 6 sept. 1845, t. XIII, p. 507).

(3) In hoc opere contenta : Jordani Nemorarii arithmetica decem libris demonstrata; Musica libris demonstrata quatuor, per Jacob. Fabrum Stapul.; Epitome in libros arithmeticos divi Severini Boetii ; Ritmachie ludus qui et pugna numerorum appellatur. Parisiis. Jo. Higman et Volg. Hopil. 1496, in-fol. goth. 72 ff. (Cf. Græsse, *Trésor de livres rares et précieux*, t. III. — J. Ch. Brunet, *Manuel du libraire et de l'amateur de livres*, p. 566).

(4) Regiomontanus, *Oratio in prælectiones Afragani*, Norimbergæ, 1537, in-4°. — Cf. Chasles, *Histoire de l'Algèbre. Sur l'époque où l'Algèbre a été introduite en Europe* (COMPTES RENDUS, t. XIII, 1845, p. 507).

moins d'importance à cet écrit, car il l'inscrivait dans la liste (1) des traités qu'il voulait faire imprimer. Chasles en a signalé (2) le haut intérêt pour l'histoire des opérations algébriques. Cependant, il n'a été édité que de notre temps, d'abord par Treuttlein (3), puis par Maximilien Curtze (4).

En 1534, Johannes Schöner publia chez Petreius de Nüremberg un traité intitulé *Algorithmus demonstratus*, dont le manuscrit avait été trouvé dans les papiers de Regiomontanus et qui, avec grande vraisemblance, est attribué à Jordanus (5).

L'algébriste, en Jordanus, se doublait d'un géomètre, dont les remarquables facultés d'invention apparaissent dans le traité *De triangulis*, publié par Maximilien Curtze (6).

Des démonstrations géométriques importantes se trouvent également dans un écrit cosmographique qui a été édité à Bâle en 1507, 1536 et 1558 (7). Mais l'attribution de cet ouvrage à Jordanus mériterait peut-être un nouvel

(1) D. Francisci Maurolyci *Opuscula mathematica*, Venetiis, 1575. Index lucubrationum. Cette liste est reproduite dans Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, Paris, 1840, t. III, p. 243.

(2) Chasles, *Histoire de l'Algèbre. Note sur la nature des opérations algébriques (dont la connaissance a été attribuée à tort à Fibonacci). — Des droits de Viète méconnus* (COMPTES RENDUS, 5 mai 1841, t. XII, p. 743).

(3) Treuttlein, ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, Bd. XXIV, Supplément, pp. 135 et 136, 1879.

(4) M. Curtze, ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, Bd. XXXVI, Histor. litterar. Abtheilung, pp. 1, 41, 81, 121 ; 1891.

(5) Voir à ce sujet Treuttlein, ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, Bd. XXIV, Supplément, p. 132 ; 1879. — L'attribution de l'*Algorithmus demonstratus* à Jordanus a été récemment révoquée en doute par M. G. Eneström en un écrit intitulé : *Ist Jordanus Nemorarius Verfasser der Schrift « Algorithmus demonstratus » ?* (BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3te Folge, Bd. V, p. 9 ; 1904).

(6) Maximilian Curtze, *Jordani Nemorarii de triangulis libri quatuor* (MITTHEILUNG DES COPERNICUS-VEREINS FÜR WISSENSCHAFT UND KUNST ZU THORN, 1887, Heft VI.)

(7) Chasles, *Aperçu historique*, p. 516. — Weidler, *Historia Astronomiae*, 1741, p. 276.

examen. Nous avons trouvé le texte d'un ouvrage sur l'astrolabe dans la collection d'écrits mathématiques et astronomiques conservée à la Bibliothèque Mazarine sous le n° 3642 (ancien 1258). Il est associé à un écrit où l'on montre, sous le nom de *Compotus manualis*, comment la main peut servir de calendrier perpétuel. Dans la table des matières par laquelle s'ouvre cette collection, on lit *Compotus Manualis. Liber Jordani de Astrolabio. Liber compoti manualis. — Liber tractatus Jordani de Astrolabio.* Mais, dans le texte, cet écrit est attribué non plus à Jordanus, mais à un nommé Hermann : *Tractatus Hermanni de Astrolabio.*

Heilbronner (1) mentionne, dans un manuscrit de la Bibliothèque Bodley d'Oxford, un *Tractatus Jordani de speculis*. Cet ouvrage, connu seulement par le titre, est réputé douteux par M. Moritz Cantor (2). Nous avons été assez heureux pour trouver un exemplaire de cet écrit dans une très précieuse collection manuscrite, due à la main d'Arnaud de Bruxelles, et conservée à la Bibliothèque Nationale sous le n° 10 252 (fonds latin). Au recto du feuillet 136, on lit : *Incipit tractatus Jordani de speculis cum comento super eodem ;* et au verso du feuillet 140 : *Explicit liber de speculis. — Incipiunt clementa Jordani de ponderibus*. Ce traité de catoptrique est écrit dans la manière claire et sobre qui caractérise Jordanus.

Si à ce traité *De speculis* on joint l'écrit de Statique intitulé *De ponderibus*, que nous analyserons en détail au § 3, on aura une idée de la puissance intellectuelle de l'auteur généralement connu sous le nom de Jordanus Nemorarius.

Toutefois, l'admiration pour une telle fécondité devra peut-être être tempérée par quelques réserves ; nous ver-

(1) Heilbronner, *Historia matheseos universae*, 1742, p. 604. — Chasles, *Aperçu historique*, p. 517.

(2) Moritz Cantor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, Bd. II, p. 54, 1892.

rons que, dès le XIIIe siècle, on attribuait au seul Jordanus trois traités de Statique, issus sans doute d'une même École, mais bien différents et portant la marque de trois auteurs au moins; il ne nous étonnerait pas que semblable confusion se fût renouvelée en d'autres circonstances; que la collection d'écrits mathématiques dont nous avons relaté les titres fût l'œuvre d'une pléiade de géomètres et que de leurs noms, tombés dans l'oubli, un seul nous fût parvenu ; la réputation qu'ils auraient justement méritée aurait servi à accroître celle de Jordanus.

De la personne de cet auteur, connaissons-nous quelque chose de précis? Rien, pas même le pays qui l'a vu naître, pas même l'époque à laquelle il vécut. Des conjectures vagues et contradictoires, c'est tout ce que nous pouvons formuler au sujet de ce grand géomètre.

Mentionnons d'abord l'opinion de la *Biographie Universelle* de Michaud, qui identifie l'auteur du *De ponderibus* avec Raimond Jordan, prévôt de l'église d'Uzès en 1381, auteur des ouvrages insérés dans la Bibliothèque des Pères sous l'étrange pseudonyme d'*Idiota*. Cette opinion n'est pas soutenable; nous avons du *De ponderibus* et des autres ouvrages de Jordanus nombre de manuscrits qui remontent au XIIIe siècle.

Daunou (1) nous apprend qu'inversement, certains histotoriens ont fait vivre Jordanus en Allemagne, vers l'an 1050, sous le règne de l'empereur Henri III. Le jésuite Giuseppe Biancani qui, sous le nom de Blancanus, publia en 1615 une *Clarorum mathematicorum chronologia*, le place au XIIe siècle; mais les affirmations de Blancanus sont sujettes à caution (2).

Daunou a essayé de fixer l'époque où vivait Jordanus au moyen de cette considération : « Il aurait cité Cam-

(1) Daunou, *Histoire littéraire de la France*, t. XVIII, p. 140, Art. Jourdain le Forestier.

(2) Voir, à ce sujet, Moritz Cantor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, Bd. II, p. 599.

panus de Novare et aurait été cité par lui... Campanus, quelquefois inscrit au XIe siècle, appartient plus probablement au XIIIe » ; et l'auteur de l'*Histoire littéraire de la France* en conclut que Jourdain le Forestier peut avoir commencé ses travaux un peu avant 1185 et avoir terminé sa carrière en 1235. Mais cette conclusion se tire des prémisses par une appréciation inexacte de la date à laquelle vivait Johannes Campanus de Novarra ; celui-ci, que Roger Bacon cite, au Chapitre XI de son *Opus tertium*, comme un des meilleurs mathématiciens de son temps, était chapelain d'Urbain IV, qui porta la tiare de 1261 à 1281. Si donc Jordanus avait été son contemporain, il aurait écrit beaucoup plus tard que ne le suppose Daunou.

Chasles (1), ayant supposé que Jordanus Nemorarius avait composé ses ouvrages au XIIe siècle, vit son affirmation vivement combattue par Libri (2), qui insista pour que Jordanus Nemorarius fût replacé au XIIIe siècle. Le grand géomètre, dont l'opinion était ainsi contestée, revint à la charge (3) pour prouver que Jordanus avait vécu à la fin du XIIe ou au commencement du XIIIe siècle. Il n'hésita pas à déclarer qu'il croyait inexacte la citation de Campanus par Jordanus, citation que Daunou avait invoquée ; il ajouta : « Une étude approfondie de quelques-uns de ses ouvrages, notamment de son *Algorisme*, m'a persuadé qu'ils sont antérieurs à ceux de Fibonacci, d'Alexandre de Villedieu, de Sacrobosco, de Campanus, etc. »

Chasles avait grandement raison de révoquer en doute la citation que Jordanus aurait faite de Campanus de Novare. Il est bien vrai que le *Liber Jordani Nemorarii viri clarissimi de ponderibus*, publié en 1533 à Nüremberg

(1) Chasles, *Histoire de l'Algèbre. Note sur la nature des opérations algébriques (dont la connaissance a été attribuée à tort à Fibonacci). — Des droits de Viète méconnus* (COMPTES RENDUS, 5 mai 1841, t. XII, p. 743).

(2) Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, t. IV, p 490 ; 1841.

(3) Chasles, *Histoire de l'Algèbre. Sur l'époque où l'Algèbre a été introduite en Europe* (COMPTES RENDUS, 6 sept. 1841, t. XIII, p. 107).

par Peter Apian, renvoie deux fois (1) le lecteur aux additions dont Campanus avait enrichi les Éléments d'Euclide; mais, comme nous le verrons au Chapitre VII, § 1, le traité publié par Apian est une réédition, fortement étendue, d'un manuscrit très répandu au xve siècle, sous le nom de *Liber Euclidis* ou de *Liber Jordani de ponderibus* ; ce manuscrit lui-même résultait d'une soudure du traité *De canonio* avec le texte primitif de Jordanus, soudure suivie d'une nouvelle rédaction plus diffuse du second de ces deux ouvrages ; or la citation de Campanus ne se trouve ni dans le *Liber Euclidis de ponderibus*, ni, à plus forte raison, dans le texte primitif de Jordanus.

De nos jours, une hypothèse nouvelle au sujet de Jordanus Nemorarius a été émise par Boncompagni et par Treuttlein (2), puis soutenue par Maximilien Curtze, dans l'introduction qu'il a mise à la publication (3) de *Jordani Nemorarii de triangulis libri quatuor*. Ce géomètre ne serait autre que le dominicain Jordan le Saxon.

Une tradition rattache Jordan le Saxon à la famille des comtes d'Eberstein, une autre à la famille von Drach ; selon les uns, il serait né à Borrentrick ou Borrentreich, près de Warburg, dans l'Évêché de Paderborn, partant dans les forêts de l'Eggebirge, ce qui expliquerait le surnom *Nemorarius* ; selon d'autres, dans la seigneurie de Dassel, appartenant au diocèse d'Hidelsheim.

En 1220, à Paris, Jordan le Saxon entra dans l'ordre fondé par saint Dominique. Celui-ci étant mort en 1221 à Bologne, le chapitre réuni à Paris en 1222 choisit Jordan comme supérieur général de l'ordre.

(1) Ces deux citations sont au verso du dix-huitième feuillet (titre compris) de l'ouvrage, qui ne porte aucune pagination.

(2) Treuttlein, ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK. Supplement zur historisch-litterarischen Abtheilung des XXIV Jahrganges. Abhandl. zur Geschichte der Mathematik. 1879, p. 125.

(3) Maximilian Curtze, MITTHEILUNG DES COPERNICUS-VEREINS FÜR WISSENSCHAFT UND KUNST ZU THORN, 1887, Heft VI.

Les deux principaux témoignages en faveur de l'identité entre Jordanus Saxo et Jordanus Nemorarius sont les suivants :

En premier lieu, un passage, découvert par Boncompagni, de la chronique composée au XIVe siècle par le dominicain anglais Nicolas Trivet. Trivet parle de l'élection de 1222 qui éleva Jordanus Saxo au généralat de l'ordre des Frères Prêcheurs ; il déclare à ce sujet que le général élu avait, dans le monde scientifique, une grande réputation de mathématicien ; qu'il passait pour avoir composé deux traités extrêmement utiles : *De ponderi* et *De lineis datis*.

En second lieu, la Chronique de son Ordre composée en 1420 par le dominicain Jacob von Soest. Par deux fois, Jacob y signale le supérieur général Jordanus comme ayant, entre autres ouvrages, écrit *geometricalia delicata*.

Ces témoignages sont formels. Certains auteurs, cependant, les révoquent en doute ; ni l'un ni l'autre des témoins n'est contemporain de Jordanus Saxo et, à ces époques, les similitudes de nom engendraient vite des confusions. De plus, on s'explique mal que le surnom *Nemorarius* ne figure dans aucun document ecclésiastique, tandis qu'aucun manuscrit mathématique n'est attribué à Jordanus *de Saxonia*. Partant, le R. P. Denifle (1) n'admet pas l'identité de Jordanus Saxo avec Jordanus Nemorarius et M. Moritz Cantor (2) réserve son jugement.

A ces tentatives pour arracher le voile qui nous cache si complètement Jordanus Nemorarius, nous sera-t-il permis d'ajouter quelques remarques qui, peut-être, aideront nos successeurs à soulever un coin de ce voile ?

Ces remarques concernent, en premier lieu, le nom de notre géomètre.

L'usage a prévalu de le nommer *Jordanus Nemorarius* ;

(1) R. P. Denifle, lettre adressée à Maximilien Curtze et insérée par celui-ci dans son travail.

(2) Moritz Cantor, *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, Bd. II, p. 53.

cette appellation, cependant, ne figure dans aucun des nombreux manuscrits qui sont venus à notre connaissance.

La plupart des manuscrits portent simplement Jordanis, Jordanes ou Jordanus ; parfois, d'ailleurs, ces diverses orthographes se rencontrent dans la même pièce d'un même manuscrit.

Lorsqu'une appellation accompagne ce prénom, ce n'est jamais *Nemorarius*, mais *de Nemore ;* parmi les manuscrits dont nous avons pu relever les titres dans les bibliothèques parisiennes, seuls, ceux qui renferment l'Arithmétique (1) de notre géomètre portent le surnom *de Nemore*. Toutefois, Maximilien Curtze (2) signale, à la Bibliothèque de Bâle, un manuscrit, le Ms. F. 33, qui contient, sous le titre *Jordanus de Nemore et Euclides de ponderibus*, la rhapsodie généralement nommée *Liber Euclidis de ponderibus.*

Or, au XIIIe et au XIVe siècle, dans les appellations composées comme Jordanus de Nemore, le second nom, celui que précède la préposition *de*, est ordinairement un nom de lieu, lieu de naissance ou d'origine du personnage que désigne cette appellation : Alexandre de Villedieu, Campanus de Novare, se nomment Alexander de Villa Dei, Campanus de Novarra; nul ne songe à traduire Johannes de Sacrobosco par *Jean du bois sacré*, mais par John of Holywood, Johannes de Muris par *Jean des murailles*, mais par Jean de Murs ; dès lors, au lieu de traduire Jordanis ou Jordanus de Nemore par Jourdain ou Jordan le Forestier, ne serait-il pas beaucoup plus naturel d'y voir la latinisation (3) de Giordano de Nemi?

(1) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin : N° 16 644 (XIIIe siècle) *Jordani de Nemore Arismetica* — N° 7364 (XIVe siècle) *Jordani de Nemore Elementorum Arismetice distinctiones decem* — N° 16 198 (XIVe siècle) *Jordani de Nemore Elementorum Arismetice* — N° 14 757 (XVe siècle) *Jordani de Nemore Elementa Arismetice.*

(2) M. Curtze, *Die angebliche Werke des Euklides über die Waage* (ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, XIXer Jahrgang, p. 265; 1874).

(3) *Nemus*, nom latin de *Nemi*. Cf. De Vit, *Totius latinitatis onomasticon*, Prati, MDCCCLXXXVII, t. IV, p. 651.

Que Jordanus de Nemore soit devenu, plus tard, Jordanus Nemorarius, il n'y a rien là qui doive nous étonner ; les exemples abondent de transformations analogues ; Pierre de Maricourt (Petrus Peregrinus), que Roger Bacon nomme Petrus de Maharne-curia, est devenu Petrus Maricurtensis; Johann Müller de Kœnigsberg, qui se nommait lui-même Johannes de Monte-Regio, a fini par être connu sous le nom de Regiomontanus ; et d'ailleurs, le vocable Jordanus Nemorarius semble avoir été employé pour la première fois par Lefèvre d'Étaples qui donnait de son propre nom la traduction latine : Faber Stapulensis.

Si, comme cela nous paraît plausible, il faut voir dans les mots *de Nemore* ou *Nemorarius* l'indication du village de Nemi, notre grand géomètre serait italien, et l'identification de ce personnage avec Jordan le Saxon ne serait plus soutenable.

A ces remarques touchant le nom de Jordanus de Nemore, ajoutons une observation sur la date à laquelle il a pu composer ses ouvrages. Nous montrerons, en ce Chapitre et au suivant, que les Manuscrits du XIIIe siècle confondent sous le nom de *Liber Jordani de ponderibus*, trois ouvrages bien distincts ; le premier, qui nous paraît le texte original, est celui que nous analyserons en ce Chapitre ; le second est une nouvelle rédaction du même écrit, due à un philosophe péripatéticien qui en a profondément transformé certaines idées fondamentales ; le troisième, beaucoup plus développé, est l'œuvre d'un mécanicien auquel nous devons la notion de moment, la théorie du plan incliné et plusieurs autres découvertes essentielles. Comment expliquer que des œuvres aussi différentes, parfois contradictoires entre elles, soient attribuées à un même géomètre, à moins de les supposer assez anciennes déjà pour que les noms des véritables auteurs aient été oubliés ? Et comment faire cette supposition si la première en date ne remonte pas à un siècle ? Si donc

Jordanus est l'auteur du plus ancien de ces traités, nous serions conduit à admettre qu'il l'a composé au plus tard au XIIe siècle.

2. *Quelques passages des* Μηχανικὰ προβλήματα *d'Aristote*

Bien que la Statique de Jordanus semble une œuvre vraiment originale et non une simple compilation d'écrits plus anciens, elle n'en a pas moins tiré ses principes de la science grecque ; elle se rattache, d'une part, au traité *De ponderoso et levi* attribué à Euclide et aux quatre propositions qui, parfois, l'accompagnent ; d'autre part à certains passages des Μηχανικὰ προβλήματα. Il nous sera donc nécessaire d'examiner de près ces passages et de tirer tout à fait au clair les pensées que le Stagirite y a renfermées.

La composition des mouvements a longuement occupé Aristote (1). Avec beaucoup de précision, il énonce cette loi : « Si un mobile se meut à la fois de deux mouvements tels que les espaces parcourus en même temps soient dans un rapport invariable, le mobile se meut en ligne droite suivant la diagonale du parallélogramme qui a pour côtés deux lignes dont les longueurs sont dans ce rapport. — Ὅταν μὲν οὖν ἐν λόγῳ τινὶ φέρηται, ἐπ' εὐθείας ἀνάγκη φέρεσθαι τὸν φερόμενον, καὶ γίνεται διάμετρος αὐτὴ τοῦ σχήματος ὃ ποιοῦσιν αἱ ἐν τούτῳ τῷ λόγῳ συντεθεῖσαι γραμμαί. » De cette loi fondamentale, il donne la démonstration aujourd'hui classique.

Au contraire, si le rapport des deux espaces composants, parcourus en même temps par le mobile, varie d'un instant à l'autre, le mobile ne peut point décrire une ligne droite. « En sorte qu'une trajectoire courbe est engendrée lorsque le mobile est animé de deux mouvements dont le rapport ne demeure point fixe d'un instant à l'autre — ὥστε περιφερὲς γίνεται, δύο φερόμενον φορὰς ἐν μηθενὶ λόγῳ μηθένα χρόνον. »

(1) Aristote, Μηχανικὰ προβλήματα, B.

Considérons, en particulier, un cercle dont le plan est placé verticalement et un mobile qui descend la demi-circonférence supérieure de ce cercle ; il est clair que ce mobile est porté simultanément par deux mouvements ; l'un de ces mouvements le fait descendre verticalement ; l'autre déplace la trajectoire verticale de manière à l'éloigner du centre : « Ὅτι μὲν τοίνυν ἡ τὸν κύκλον γράφουσα φέρεται δύο φορὰς ἅμα, φανερὸν ἔκ τε τούτων, καὶ ὅτι τὸ φερόμενον κατ' εὐθεῖαν ἐπὶ τὴν κάθετον ἀφικνεῖται, ὥστ' εἶναι πάλιν αὐτὴν ἀπὸ τοῦ κέντρου κάθετον. »

Ces propositions, si précises et si exactes, appartiennent à ce que nous nommerions aujourd'hui la Cinématique ; Aristote en tire des conséquences qui sont du domaine de la Dynamique et qui concernent la composition des forces. La transition n'est point énoncée, mais il est fort aisé d'y suppléer ; il suffit de se souvenir du principe fondamental de la Dynamique péripatéticienne : La puissance qui meut un poids déterminé est dirigée suivant la ligne que décrit ce poids et elle est proportionnelle à l'espace parcouru dans un temps donné.

Donc, un mobile qui décrit la moitié supérieure d'une circonférence de plan vertical est sollicité par deux forces, dont l'une le tire verticalement vers le bas, tandis que l'autre tend à l'écarter horizontalement du cercle ; de même, si ce mobile pesant décrit la moitié inférieure de cette circonférence — et c'est ce cas seulement qu'Aristote va considérer désormais — il sera sollicité à descendre verticalement, d'un mouvement naturel, par sa gravité et il sera tiré horizontalement, contre nature, vers l'intérieur du cercle.

D'ailleurs, si deux mobiles décrivent, dans des plans verticaux, des demi-circonférences inégales, lorsqu'ils seront descendus d'une même longueur à partir du diamètre horizontal, ils ne se seront pas déplacés horizontalement de la même longueur ; pour un même déplacement

naturel, le mobile qui décrit la petite circonférence aura subi un plus fort déplacement contre nature que le mobile qui décrit la grande circonférence. Alors donc que la pesanteur sera la même pour ces deux mobiles, la force « qui tire de côté et vers l'intérieur » sera plus grande pour le premier que pour le second.

On comprend que, de ces deux mobiles également abaissés, celui qui se trouve sur la grande circonférence se meuve plus vite que l'autre ou, en d'autres termes, soit sollicité par une plus puissante force résultante ; car la pesanteur naturelle est, chez lui, combattue par une force contre nature de moindre intensité.

Si l'on prend, sur un rayon qui tourne autour du centre en s'abaissant, divers points inégalement distants du centre, ces divers points décriront en même temps des mouvements naturels inégaux et des mouvements contre nature inégaux ; mais, pour chacun d'eux, le rapport du mouvement naturel au mouvement contre nature restera le même. La contemplation de cette égalité a longuement retenu Aristote qui paraît y avoir vu une corrélation, quelque peu mystérieuse, avec la loi d'équilibre du levier ; il nous serait difficile d'exposer les considérations, fort confuses, auxquelles cette contemplation conduit le Stagirite. Même parmi les propositions que nous venons d'énoncer, il en est qui s'accorderaient malaisément avec les principes de la Dynamique actuelle ; mais, si inexactes soient-elles, elles n'en ont pas moins joué, dans le développement de la Mécanique, un rôle important ; elles ont, les premières, suggéré l'idée de la composition et de la décomposition des forces. Ce que nous avons dit suffira à montrer comment l'École péripatéticienne concevait cette composition des forces et à expliquer certaines conceptions de Jordanus.

Il est également une question, examinée par Aristote, qui a extrêmement préoccupé Jordanus et ses successeurs ; il nous est donc nécessaire d'en toucher quelques mots.

Aristote considère (1) une balance dont le fléau BC (fig. 18) soit une règle prismatique à section rectangulaire ; ce qu'il en dit suffit à prouver qu'il lui attribue cette forme ; il suppose ce fléau suspendu à une corde DA

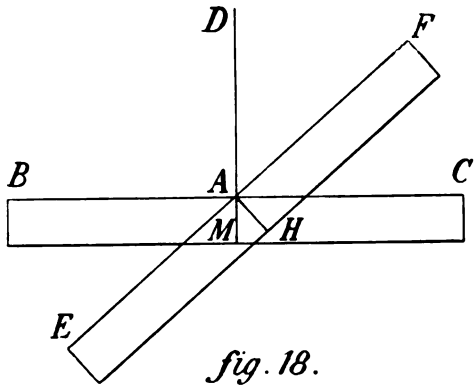

fig. 18.

qui s'attache au point A de son bord supérieur. Il se demande comment le fléau, écarté de la position horizontale et amené en EF, revient, lorsqu'on l'abandonne, à sa

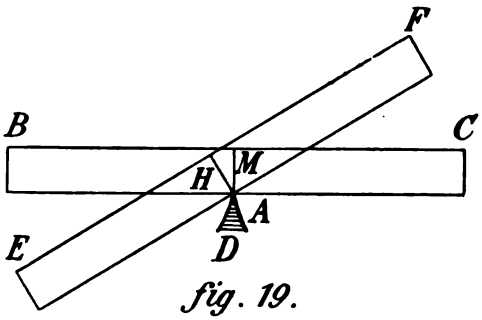

fig. 19.

position première ; en d'autres termes, il se demande pourquoi l'équilibre d'une telle balance est *stable*.

Sa réponse est la suivante : Si le fléau a été, comme dans la fig. 18, abaissé du côté gauche, la partie de la

(1) Aristote, Μηχανικὰ προβλήματα, Γ.

règle qui se trouve à droite de la verticale DAM est plus considérable et, partant, plus pesante que la partie laissée à gauche de la même verticale ; la première partie s'abaissera donc en relevant la seconde, ce qui ramènera le fléau à sa position primitive.

Il prend ensuite un fléau BC de même forme que le précédent, mais reposant sur un support D par un point A de son bord inférieur (fig. 19). Comparant cette disposition à la précédente, il déclare ceci : « Le contraire a lieu si le support est au-dessous ». Il aurait dû en conclure qu'un tel fléau, écarté de la position horizontale, ne cesserait de se mouvoir que lorsqu'il serait devenu vertical ; ou, en d'autres termes, que l'équilibre primitif serait instable ; par une étrange inadvertance, il en conclut que ce fléau resterait, en équilibre indifférent, dans la position où on le placerait ; cette erreur, bien facile à dissiper, ne s'en maintint pas moins, chez plusieurs auteurs, jusqu'au milieu du XVIe siècle.

3. *Les* Elementa Jordani super demonstrationem ponderis

Ce titre paraît avoir été le titre primitif du traité de Statique composé par Jordanus ; la forme première de ce traité est demeurée longtemps méconnue ; en effet, au cours des âges, des variantes et des commentaires en ont été composés, d'autres ouvrages sont venus s'y souder plus ou moins naturellement ; ces rhapsodies se sont modifiées et développées ; elles ont ensuite été reproduites par l'imprimerie, donnant naissance à des livres dont la forme ressemblait bien peu à celle de l'œuvre dont ils gardaient le nom.

Un manuscrit (1) de la Bibliothèque Nationale nous

(1) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, n° 10 252.

conserve, de l'œuvre primitive de Jordanus, un texte qui semble complet et à peu près pur de toute altération. Ce texte, d'une élégante et régulière écriture du xve siècle, est daté, car il se termine par ces mots *8 kal. novembris 1464*. Il n'est point signé, mais quelques comparaisons aisées nous permettent de fixer le nom du copiste. Le même volume, en effet, renferme diverses autres pièces, écrites de la même main, dont deux sont non seulement datées, mais signées ; l'une, *Algorismus de integris per Joannem de Sacro Boscho*, se termine par les mots : *finis. Neapoli, per Arnaldum de Bruxella, 1476, die 11 februarii, ante ortum solis*; l'autre, *Tractatus de ponderibus secundum Magistrum Blasium de Parma* dont, au Chapitre suivant, nous verrons toute l'importance, est clos par la formule : *1476, 5 Januarii, Neapoli, per A. de Bruxella.*

Sur cet Arnaud de Bruxelles, nous trouvons des renseignements plus détaillés dans une autre collection semblable (1). Des tables astronomiques, œuvres de *Blanchinus* ou de *de Blanchinis*, se terminent par cette formule :

« *Finis ; 8 kal. Aprilis 1468 incompleto. Expliciunt canones super tabulis clarissimi mathematici et artium doctoris Johannis de Blanchinis in armis militis strenuissimi factoris generalis Ill. Borsii, ducis Mutine et Regii, comitis Rodrigii, marchionis Estensis et Ferrarie, completi per Arnaldum de Tiishout, de oppido Bruxella, ducatus Brabancie. Anno 1468, incompleto 8 kal. Aprilis 2e indictionis. In urbe Parthenopes.* »

Et Arnaud de Tijshout, comme un souvenir à sa patrie, ajoute ce renseignement astronomique : « *Bruxelle polus elevatus g. 40* ».

Arnaud de Tijshout, de la ville de Bruxelles et du duché de Brabant, veillait parfois — une de ces citations nous le confesse — presque jusqu'au lever du soleil pour achever

(1) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, n° 10 267.

de reproduire un manuscrit précieux en caractères gothiques réguliers et bien alignés ; cependant, il ne bornait pas son industrie au métier de copiste ; à Naples, où il était établi, le Flamand, *il Fiamengo* — c'est ainsi qu'on le nommait — avait apporté l'esprit d'initiative du peuple auquel il appartenait ; il s'était fait imprimeur (1), et plus d'un ouvrage connu sortit de ses presses.

C'est donc à Arnaud de Bruxelles que nous devons la collection où se trouve, à la suite du traité *De speculis* de Jordanus, un texte à peu près irréprochable des *Elementa de ponderibus*.

Du même écrit, la Bibliothèque Nationale possède un autre texte (2) complet et à peine différent du précédent, auquel le copiste a attribué faussement le titre *Liber de ponderoso et levi* qui caractérise, en général, le fragment attribué à Euclide. En outre, il a soudé à la fin de l'écrit de Jordanus trois des quatre propositions que nous avons étudiées au § 1 du Chapitre précédent.

La Bibliothèque Mazarine possède un texte du XIIIe siècle (3) des *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis ;* malheureusement, ce texte n'est pas complet ; nous avons dit, au § 1 du Chapitre précédent, de quelle manière étrange le commencement d'une proposition de Jordanus se continuait par la fin d'un théorème du *De canonio ;* nous avons dit aussi comment cette singulière soudure se trouvait scrupuleusement reproduite dans la collection manuscrite (4) qui a appartenu à Maître François Guillebon, Docteur en Sorbonne. Quelque tronqués que soient le texte de la Bibliothèque Mazarine et sa reproduction, ils nous permettent cependant de contrôler une partie du traité copié par Arnaud de Bruxelles ; ils

(1) De Saint-Genois, *Biographie Belge*, 1866.
(2) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, n° 11 247.
(3) *Bibliothèque Mazarine*, n° 3642 (ancien 1258).
(4) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, n° 16 649.

nous montrent que du XIIIe siècle à la fin du XVe siècle, cette partie n'avait éprouvé aucune altération notable.

La clarté et la concision des énoncés et des démonstrations de Jordanus donnent à son traité une forme très élégante, que les commentateurs ont ultérieurement altérée. Le traité, d'ailleurs, est très bref ; il s'ouvre par sept axiomes ou définitions, et se développe en neuf propositions.

Il ne paraît pas, toutefois, que nous en possédions le texte intégral ; en démontrant la troisième proposition, Jordanus écrit ces mots : « Sicut constituimus Præexercitaminibus ». Ces *Præexercitamina* constituaient, sans doute, une sorte de préambule où étaient démontrés certains lemmes de géométrie. En deux autres passages, au cours des démonstrations de la deuxième et de la cinquième proposition, Jordanus indique un autre renvoi : « Sicut declaratum est in Filotegni — sicut declaravimus in Filotegni » ; ces deux renvois visent encore des propositions de géométrie. Jordanus aurait donc, outre ses nombreux ouvrages déjà connus, composé sur la géométrie un traité aujourd'hui perdu ; à ce traité il aurait donné, chose singulière à l'époque où il vivait (1), le titre grec *Filotegnis*, φιλοτέχνης, l'ami de l'art.

Rien cependant ne permet de supposer que les *Elementa super demonstrationem ponderis* soient, comme le *De canonio* par exemple, une simple traduction d'une œuvre grecque ; aucun terme grec ne s'y rencontre, hors celui que nous venons de citer ; lorsqu'on suit l'ordre des lettres qui marquent les divers points des figures ou les diverses grandeurs dont l'auteur raisonne, on ne reconnaît plus la suite alphabétique grecque ; dans la première démonstration, nous voyons les lettres s'introduire selon l'ordre de l'alphabet latin : *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* ; ailleurs, nous

(1) Il convient de noter que l'un des renvois au *Filotegni* figure dans le fragment du XIIIe siècle conservé à la Bibliothèque Mazarine. La copie de ce texte qui a appartenu à François Guillebon écrit : *Philotegne*.

voyons deux lignes analogues marquées *dy* et *ez*, ou bien encore *dh* et *eg* ; tout semble indiquer que nous sommes en présence d'une œuvre originale, issue du génie occidental.

Ce n'est pas que l'auteur de cette œuvre n'ait connu certains des écrits, grecs d'origine, que nous avons précédemment analysés.

Il saute aux yeux, dès qu'on ouvre ses *Elementa*, qu'il connaît le *De ponderoso et levi* attribué à Euclide ; ses deux premiers axiomes, sa première proposition, forment comme un résumé de ce fragment.

D'autre part, la neuvième et dernière proposition des *Elementa* a pour objet de prouver qu'une masse cylindrique, allongée selon l'un des bras du fléau d'une balance, pèse exactement comme si on la condensait en son centre. Pour y parvenir, Jordanus se contente de remarquer que deux poids égaux, pendus en deux points différents du fléau, pèsent comme un poids unique, égal à leur somme et pendu à égale distance de chacun d'eux. Il est impossible de lire cette dernière proposition sans songer que l'auteur avait sous les yeux les quatre propositions qui composent le *Liber Euclidis de ponderibus secundum terminorum circumferentiam*, ou au moins les deux propositions B et C.

Le principal intérêt de la proposition qui termine les *Elementa* de Jordanus est de permettre le calcul du poids compensateur dont doit être chargé le petit bras d'une romaine. Or, de cette application, son livre ne dit mot, ce qui lui donne un aspect inachevé. Dès le XIIIe siècle — l'étrange soudure présentée par le texte de la Bibliothèque Mazarine en fait foi — on avait l'habitude de placer le *De canonio* à la suite du traité de Jordanus. Cette association, dont nous reparlerons au § 1 du Chapitre suivant, était fort naturelle, les *Elementa super demonstrationem ponderis* se terminant précisément par le théorème que le *De canonio* postule en ces termes : « Monstratum est in libris qui de his loquuntur. » Elle paraît même si naturelle

qu'il est permis de se demander si elle n'a pas été voulue par Jordanus et si, en composant ses *Elementa*, il ne s'est pas proposé d'écrire une sorte d'introduction au *De canonio*, dont il était peut-être le traducteur (1).

Ce qui fait l'intérêt principal de cette introduction, ce qui la distingue de tous les écrits précédemment étudiés, sauf des Μηχανικὰ προβλήματα, ce qui la rapproche jusqu'à un certain point de ce dernier ouvrage, c'est que la décomposition du poids suivant diverses directions y joue un rôle essentiel.

Jordanus considère un mobile assujetti à descendre suivant un chemin non vertical et il introduit dans ses raisonnements, comme représentant la seule force efficace, la composante du poids selon la direction de la trajectoire; cette composante, il la nomme la *pesanteur relative à la situation* du mobile, *gravitas secundum situm*. La relation quantitative qui unit cette gravité relative au poids proprement dit, Jordanus ne la connaît point ; il énonce seulement une règle qualitative : Plus la trajectoire est oblique, plus est faible la *gravitas secundum situm*. D'ailleurs, pour comparer l'obliquité de diverses trajectoires, il faut prendre sur ces trajectoires des chemins de même longueur et évaluer la descente verticale à laquelle ils correspondent ; celui qui correspond à la plus petite descente verticale est le plus oblique.

Tels sont les principes qu'au commencement de son écrit, Jordanus formule en ces termes :

« Omnis ponderosi motum esse ad medium, virtutemque ipsius potentiam ad inferiora tendendi et motui contrario resistendi.....

» Gravius esse in descendendo quando ejusdem motus ad medium rectior.

(1) Nous avons fait remarquer que le traducteur du *De canonio* remplaçait, dans les figures, l'η par un *i* ; de même, Jordanus écrit *filotegni* pour φιλοτέχνη.

» Secundum situm gravius, quando in eodem situ minus obliquus est descensus.

» Obliquiorem autem descensum in eadem quantitate minus capere de directo. »

Ces principes eussent été d'une application facile aux trajectoires rectilignes ; il semble que le problème du plan incliné eût dû, tout d'abord, solliciter les efforts de Jordanus ; son attention, cependant, ne paraît point s'être portée vers ce problème, mais seulement vers les problèmes de mouvement curviligne que soulevait l'étude du

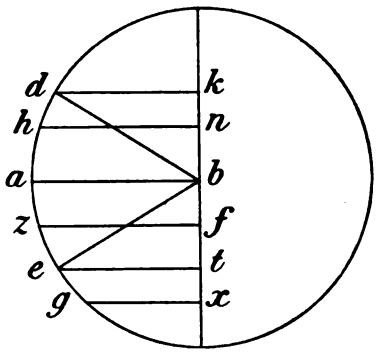

fig. 20.

levier et de la balance. Or, ces derniers problèmes se prêtaient moins aisément à la considération de la *gravité relative à la situation du mobile ;* pour évaluer l'obliquité de la trajectoire, il aurait fallu comparer la longueur d'un chemin infiniment petit parcouru sur cette trajectoire avec la chute infiniment petite qui correspond à ce chemin; de telles considérations infinitésimales ne pouvaient être poursuivies au XIIe ou au XIIIe siècle.

Il semble, cependant, qu'elles se soient offertes un instant à l'esprit de Jordanus, au cours de la démonstration d'une importante proposition, d'une de celles qui ont le plus influé sur le développement ultérieur de la Statique.

Jordanus considère un point pesant fixé à l'extrémité

d'un bras de levier mobile autour du point *b* (fig. 20). Ce bras de levier est d'abord horizontal et le poids se trouve en *a* ; puis on l'incline de manière à amener le poids soit en *d*, au-dessus du point *a*, soit en *e*, au-dessous du même point ; dans un cas comme dans l'autre, la gravité *secundum situm* diminue.

En effet, dit Jordanus, prenons au-dessous des points *a*, *d*, *e*, des arcs *az*, *dh*, *eg*, *aussi petits que nous voudrons*, « quantulumcunque parvi », égaux entre eux, et marquons en *bf*, *kn*, *tx* ce que des descentes, effectuées selon ces

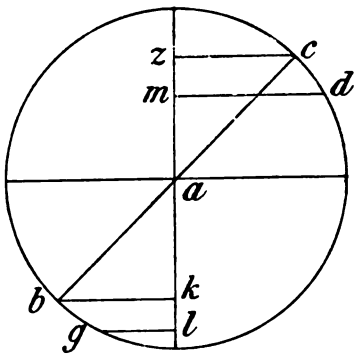

fig. 21.

arcs, *prennent du direct* ; comme *kn* et *tx* sont sûrement plus petits que *bf*, les descentes *dh* et *eg* sont plus obliques que la descente *az* ; ainsi la gravité *secundum situm* est plus faible en *d* ou en *e* qu'en *a*.

Si la méthode infinitésimale pouvait apparaître un instant à un géomètre du moyen âge, ce ne pouvait être que comme une lueur qui brille un clin d'œil et s'éteint aussitôt. En général, Jordanus considère des arcs finis et les compare à leur projection sur la verticale, comme l'avait fait Aristote dans les Μηχανικὰ προβλήματα ; de là, parfois, des raisonnements inexacts. En voici un qui, au XVIe siècle, donnera lieu à bien des débats :

Un levier *bac* (fig. 21), aux extrémités *b* et *c* de ses

bras égaux, porte des poids égaux ; ce levier n'est point horizontal ; le bras *ac* est levé et le bras *ab* est abaissé. Jordanus se propose de prouver que le poids *c* est plus grave *secundum situm* que le poids *b*, en sorte que le premier fera remonter le second et ramènera le levier à la position horizontale, qui sera ainsi position d'*équilibre stable*.

Pour construire cette preuve, il prend, au-dessous des points *b* et *c*, des arcs égaux *bg* et *cd*, qu'il projette en *kl* et *zm* sur la verticale ; *kl* est plus petit que *zm*, l'arc *bg*

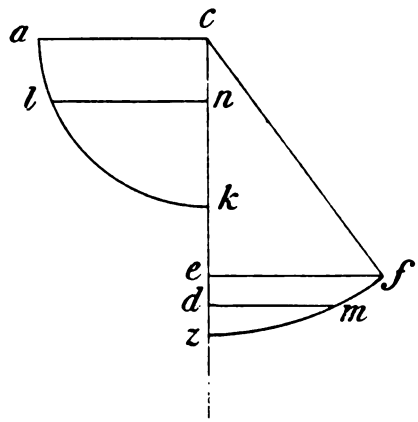

fig. 22.

prend moins du direct que l'arc *cd*, ce qui établit la proposition énoncée.

Aristote avait fort bien vu que la stabilité d'une règle tenait à ce fait que le point de suspension se trouvait au-dessus du centre de figure de la règle ; pour Jordanus et pour ses commentateurs, cette idée juste se trouve obscurcie.

D'autres paralogismes se trouvent dans l'œuvre de Jordanus, erreurs dont, pour la plupart, l'admission devait, en son temps, sembler fort naturelle. Il pouvait sembler naturel, par exemple, de croire qu'en un mécanisme, un

poids en soulèvera un autre si la gravité *secundum situm* du premier surpasse la gravité *secundum situm* du second. De ce principe vraisemblable assurément, mais inexact, Jordanus va tirer une proposition formellement erronée ; cette proposition nous montrera clairement à quel point son auteur était loin de concevoir la notion de moment.

Jordanus considère un levier coudé (fig. 22), dont le petit bras *ca* est horizontal tandis que le grand bras *cf* est oblique ; il suppose que la distance *fe* du point *f* à la verticale est précisément égale au bras horizontal *ca*. Nous savons aujourd'hui que des poids égaux placés en *a* et *f* se feront équilibre. Notre auteur se propose au contraire de prouver que le poids placé en *a* l'emporte sur le poids placé en *f*.

Dans ce but, il remarque que toute descente du poids *a* a lieu suivant le quadrant *ak*, de centre *c* et de rayon *ca*, tandis que toute descente du poids *f* a lieu suivant l'arc *fz*, de centre *c* et de rayon *cf* ; sur ces deux trajectoires, prenons respectivement, au-dessous des poids *a*, *f*, des arcs égaux, *al*, *fm* ; la longueur *cn* que le premier *prend du direct* est supérieure à la longueur *ed prise du direct* par le second ; le poids *a* est donc plus grave *secundum situm* que le poids *f* ; et Jordanus se croit en droit d'en conclure la proposition énoncée.

Parmi les démonstrations de Jordanus, il en est une qui mérite une attention toute particulière ; elle ne fait point appel à la notion de la gravité *secundum situm* ; le principe dont elle se réclame n'est point explicitement énoncé ; mais, d'autre part, ce principe transparaît si clairement qu'il est impossible de le méconnaître et de ne le point formuler ainsi : *Ce qui peut élever un certain poids à une certaine hauteur peut aussi élever un poids* k *fois plus grand à une hauteur* k *fois plus petite*. Ce principe est donc celui que Descartes prendra pour fondement de toute la Statique et qui, grâce à Jean Bernoulli, deviendra le principe des déplacements virtuels. Il y a

plus ; nous verrons que le courant d'idées qui a apporté ce principe à Descartes et qui a pris sa source aux *Elementa* de Jordanus n'a subi, dans son progrès, aucune discontinuité. C'est bien aux commentateurs de Jordanus que Descartes a emprunté ce postulat.

C'est pour justifier la loi de l'équilibre du levier que Jordanus de Nemore fait implicitement appel à ce principe.

« Soient, dit Jordanus, *acb* le fléau (fig. 23), *a* et *b* les poids qu'il porte et supposons que le rapport de *b* à *a* soit celui de *ca* à *cb*. Je dis que la règle ne changera pas de

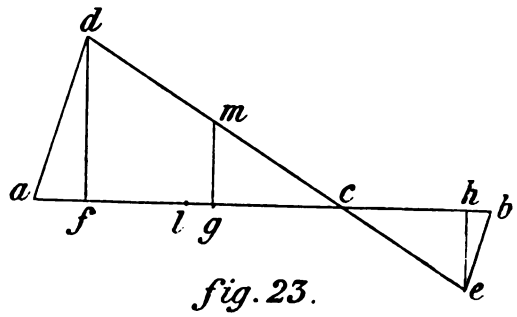

fig. 23.

place. Mettons, en effet, qu'elle descende du côté *b* et prenne la position oblique *dce* ; *b* descendra de la hauteur verticale *he* et *a* montera de la hauteur verticale *fd*. » Si l'on plaçait en *l*, à une distance du point *c* égale à *cb*, un poids égal au poids *b*, il monterait en même temps d'une hauteur verticale *gm*, égale à *he*. « Visiblement, les triangles *ceb*, *cda* sont semblables ; le rapport de *df* à *eh* est donc celui de *ac* à *cb*, partant celui du poids *b* au poids *a* ; donc *df* est à *gm* comme le poids *b* est au poids *a*, ou comme le poids *l* est au poids *a*. Dès lors, ce qui suffit à amener le poids *a* en *d* suffirait à amener le poids *l* en *m*. Mais nous avons montré que les poids *b* et *l* se contre-balancent exactement. » Le mouvement supposé n'aura donc pas lieu, et il en serait de même du mouvement en sens inverse.

Cette démonstration de la loi d'équilibre du levier était en très grand progrès sur celle qu'avait donnée Aristote, qu'avait suivie plus tard Thâbit ibn Kurrah. Celle-ci prenait pour fondement l'axiome de la Dynamique péripatéticienne, la proportionnalité de la force à la vitesse. La révolution accomplie en Dynamique par le XVIe siècle devait un jour la rendre caduque. Celle-là, au contraire, rattachait l'équilibre du levier à l'égalité entre le *travail virtuel* moteur et le *travail virtuel* résistant. Elle était le premier germe d'un principe dont le plein développement serait atteint seulement à la fin du XVIIIe siècle, en la *Mécanique Analytique* de Lagrange. L'étude de l'évolution par laquelle ce germe, infime en apparence, est parvenu à la forme achevée sous laquelle nous le contemplons aujourd'hui, sera un des principaux objets de ces études sur les *Origines de la Statique*.

CHAPITRE VII

LA STATIQUE DU MOYEN AGE *(suite)*
L'ÉCOLE DE JORDANUS

1. *La formation du* LIBER EUCLIDIS DE PONDERIBUS

Les idées exposées dans les *Elementa Jordani de ponderibus* ont suscité, au moyen âge, un mouvement intellectuel très intense ; philosophes, géomètres, mécaniciens, se sont, à l'envi, emparés de ces idées pour les discuter, les commenter, les développer ; dès le XIIIe siècle, les *Elementa de ponderibus* ont déjà donné naissance à des traités fort différents de celui qui en est la source.

Ce mouvement intellectuel produit des œuvres qui n'ont point, en général, la simplicité et la rigueur des écrits alexandrins parvenus à la connaissance des géomètres du moyen âge ; mais, tandis que ces derniers écrits s'attachaient presque exclusivement au seul problème de la balance romaine, les traités du moyen âge posent des questions infiniment plus variées ; bien souvent, ils parviennent à les résoudre par de profondes intuitions qui découvrent à leurs auteurs quelques-uns des principes essentiels de la Statique.

Parmi les courants divers qui découlent des idées de Jordanus, nous étudierons tout d'abord celui qui a conduit les géomètres à relier les *Elementa Jordani* au *De canonio* et à composer ainsi le traité souvent nommé *Liber Euclidis de ponderibus*.

La soudure entre les *Elementa* de Jordanus et un autre écrit était d'autant plus naturelle que le traité de Jordanus ne semblait pas avoir sa fin en soi, qu'il apparaissait comme une espèce d'introduction à un autre traité, qu'il se terminait par une sorte de lemme appelant, à sa suite,

d'autres théorèmes. Les commentateurs cherchaient donc, parmi les autres écrits concernant la Statique, l'achèvement que réclamaient les *Elementa de ponderibus*.

Parfois, le fragment qu'on leur accolait de la sorte était formé des propositions contenues dans le *Liber Euclidis de ponderibus secundum terminorum circumferentiam* ; c'est cette association qu'un manuscrit du xve siècle, conservé à la Bibliothèque Nationale (1), nous présente sous le titre : *Incipit liber de ponderoso et levi*. Cette association était d'ailleurs assez étrange ; telle proposition du fragment accolé au traité de Jordanus, la proposition C, faisait double emploi avec la dernière proposition du traité ; la loi du levier se trouvait établie deux fois, et par des méthodes discordantes ; le rapprochement de ces deux textes offrait trop de disparates pour qu'il fût conforme aux intentions de Jordanus.

Ce rapprochement, d'ailleurs, ne semble pas s'être produit fréquemment ; un seul manuscrit nous l'a présenté. En général, on donnait aux *Elementa Jordani de ponderibus* la fin qui semblait leur manquer en les faisant suivre du traité *De canonio*. L'usage de réunir ainsi ces deux traités devait être établi dès le xiiie siècle ; on ne saurait s'expliquer autrement l'étrange méprise qui, dans le *Codex Mazarineus*, soude la fin du *De canonio* au commencement des *Elementa*. Dans le Ms. 7378 A (latin) de la Bibliothèque Nationale, le *De canonio* fait suite non pas au traité primitif de Jordanus, mais à deux autres traités, dérivés de celui-là ; néanmoins, ayant à invoquer la loi d'équilibre du levier, le texte du *De canonio* ajoute : « ut patuit in penultima superiorum demonstrationum ». Cette indication n'a aucun sens dans les conditions où se trouve placé le traité *De canonio* que contient notre manuscrit ; elle devient, au contraire, parfaitement exacte si l'on suppose ce traité placé à la suite de celui de Jordanus ; elle a dû être mise

(1) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, n° 11 247.

par l'auteur qui a réuni ces deux traités à la place de l'indication : « sicut demonstratum est ab Euclide, et Archimede, et aliis » que contiennent d'autres textes du *De canonio* (1). Il y a plus ; ces deux traités se suivent si naturellement l'un l'autre, le livre de Jordanus se termine si exactement par la proposition que l'auteur du *De canonio* invoque pour démontrer son premier théorème, que cette association nous semble voulue par Jordanus lui-même. Ce géomètre paraît, nous l'avons dit, avoir eu l'intention d'écrire une introduction au *De canonio*.

La suite naturelle qui s'établit entre les *Elementa Jordani* et le *De canonio* ne saurait cependant dissimuler la diversité de leur origine, ni les faire prendre pour deux parties d'un même ouvrage ; le texte grec transparait clairement sous le latin du *De canonio*, tandis que rien, dans les *Elementa*, ne décèle une origine hellénique ; d'ailleurs lorsque l'auteur du *De canonio* invoque cette proposition : « Un cylindre pesant, allongé suivant le fléau d'une balance, équivaut à un poids égal suspendu au centre de ce cylindre », il ne renvoie pas son lecteur à la dernière proposition de Jordanus, mais « aux livres qui traitent de ces choses ».

Cette association des *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis* et du *De canonio* ne tarda pas à devenir tout à fait classique ; au xve siècle, peut-être même au xive, un géomètre dont nous ignorons le nom remania cette rhapsodie ; il développa avec verbosité les démonstrations, si nettes et si concises, de Jordanus ; il donna tout au long les raisonnements au sujet desquels Jordanus s'était borné à renvoyer aux *Præexercitamina* ou au *Philotechnes* ; il les appuya de lemmes empruntés

(1) *Bibliothèque Nationale*, Ms. 8680 A (fonds latin). Le texte du Ms. 7378 A, comparé à celui du Ms. 8680 A, montre que les démonstrations ont subi plusieurs remaniements importants. Le fragment conservé au *Codex Mazarineus* appartient au texte non remanié que nous présente le Ms. 8680 A.

aux *Éléments* d'Euclide ou à l'*Almageste* de Ptolémée, écrits que Jordanus n'avait pas invoqués ; en revanche, il reproduisit les propositions du *De canonio* sous la forme qu'elles avaient déjà reçue au XIIIe siècle (1), sans rien faire pour atténuer la disparate entre les deux parties de l'œuvre, sans même remplacer par un renvoi à sa IXe proposition le « monstratum est in libris, qui de his loquuntur ».

Cette association remaniée des *Elementa Jordani* et du *De canonio* se trouve en deux manuscrits (2) conservés à la Bibliothèque Nationale ; elle y porte le titre *Liber Euclidis de ponderibus*, qui semble lui avoir été fréquemment attribué.

L'étroite analogie qui existe entre le *Liber de levi et ponderoso* attribué à Euclide et la première proposition du *De ponderibus* de Jordanus pouvait, en effet, conduire assez naturellement à mettre le dernier traité sous le nom du grand géomètre grec. Un manuscrit du XIVe siècle (3) nous présente les *Éléments de la Géométrie*, que suit une longue série de propositions, énoncées sans démonstration. Nous y trouvons successivement les divers théorèmes qui composent le traité *De speculis* attribué à Euclide, les propositions des *Elementa Jordani de ponderibus*, du *De canonio*, du *Liber de levi et ponderoso*, enfin d'un traité de perspective attribué également à l'auteur des *Éléments*. Ainsi, dès le XIVe siècle, la gloire de celui-ci était parfois accrue au détriment de la renommée de Jordanus.

Parfois, cependant, le nom de Jordanus reparaissait à côté de celui d'Euclide dans le titre des traités où les *Elementa de ponderibus* se soudaient au *De canonio*. Dans le Manuscrit F. 33 de la Bibliothèque de Bâle, Maximilien Curtze (4) a trouvé un écrit intitulé : *Jordanus de Nemore*

(1) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, Ms. n° 7378 A.
(2) *Ibid.*, fonds latin, Mss. n° 7310 et n° 10 260.
(3) *Ibid.*, Ms. n° 7215 (fonds latin).
(4) Maximilian Curtze, *Das angebliche Werk des Euklides über die Waage* (ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, XIX^er Jahrgang, p. 263; 1874).

et Euclides de ponderibus ; la trop courte description qu'il donne de cet écrit nous permet cependant d'y deviner une telle association. Dans le *Codex amplonianus*, conservé à Erfurt, Valentin Rose (1) a trouvé, à côté d'un *Liber Jordani de ponderibus*, un écrit intitulé : *Liber ponderum Jordani, secundum quosdam vero Euclidis*, et terminé par ces mots : *Explicit liber Euclidis de ponderibus secundum quosdam*. Maximilien Curtze (2), qui a vu cet écrit, nous donne à son sujet des renseignements bien sommaires, mais qui paraissent désigner la compilation remaniée dont nous venons de parler. Le même auteur nous donne (3) une analyse beaucoup plus complète d'un traité, attribué à Jordanus, que contient un manuscrit conservé à Thorn ; et, là encore, c'est la même compilation que nous retrouvons avec certitude.

Cette compilation garda le nom de Jordanus lorsque l'imprimerie s'en empara. Elle forma, en effet, un des éléments essentiels du livre publié à Nüremberg, en 1533, par Peter Apian, professeur à l'Université d'Ingolstadt. Mais un autre élément vint se combiner au précédent pour composer le traité publié par Peter Apian ; c'est ce second élément que nous allons maintenant étudier.

2. *La transformation péripatéticienne des* ELEMENTA JORDANI

Sous le n° 7378 A (fonds latin), la Bibliothèque Nationale conserve un recueil de pièces disparates touchant les

(1) Valentin Rose, *Anecdota graeca et graeco-latina*, IIter Heft, 1870, — VII, *Zwei Bruchstücke griechischer Mechanik. Philon und Heron.*

(2) Maximilian Curtze, *Zwei Beiträge zur Geschichte der Physik* (BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3e Folge, Bd. 1, p. 51 ; 1900).

(3) Maximilian Curtze, *Ueber die Handschrift*, R. 4° 2 : Problematum Euclidis explicatio *des Königl. Gymnasiums zu Thorn* (ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, XIIIter Jahrgang, Supplément, p. 45, 1868). On peut en dire autant d'une pièce intitulée : *Liber de ponderibus vel de statera*

Mathématiques, l'Astronomie, la Mécanique. Parmi ces pièces, se trouve un écrit du XIIIe siècle (1), sur parchemin, qui contient un long et important document relatif à la Statique. Ce document, qui commence par les mots : *Incipit liber Jordani de ponderibus*, se compose, en réalité, de la succession de trois textes distincts.

Le troisième de ces textes comprend une série de problèmes sur l'équilibre du *canonium* ; nous en avons longuement parlé à la fin du Chapitre V ; le second sera l'objet du prochain paragraphe ; le premier, enfin, est celui qui va nous occuper.

Un préambule assez long, où l'auteur donne un aperçu général des problèmes traités et de la méthode qui sert à les résoudre, précède la liste des axiomes pris par Jordanus comme principes de ses déductions. Treize propositions suivent ces axiomes ; l'ordre de ces propositions, la forme de ces énoncés sont exactement les mêmes qu'au *Liber Euclidis de ponderibus*, mais les démonstrations et les explications qui accompagnent ces énoncés sont, comme nous le verrons tout à l'heure, entièrement différentes ; l'étude que nous en ferons justifiera le nom de

Jordani, signalée par M. Curtze dans le Ms. Db. 86, du commencement du XIVe siècle, conservé à la Bibliothèque de Dresde (Maximilian Curtze, *Ueber eine Handschrift der K. Bibliothek zu Dresden* ; ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, XXVIIIter Jahrgang, Supplément, p. 1 ; 1883).

(1) C'est la date que lui attribue Thurot (*a*) et que confirme l'aspect de l'écriture gothique. Le catalogue de la Bibliothèque Nationale attribue le Ms. 7378 A au XIVe siècle ; en effet, à la suite des textes qui nous intéressent, s'en trouvent d'autres, d'une autre main, copiés sûrement au XIVe siècle. Ainsi, au f. 52, on lit : *Expliciunt canones tabularum astronomie sive tractatus de sinibus et cordis per Magistrum Johannem de Linieriis, ordinati et completi Parisiis anno ab Incarnatione Domini 1322°*. De même, au f. 63 : *Explicit pronosticatio Magistri Leonis Judei facta in Anno Domini 1341°. Incipit pronosticatio Magistri Johannis de Muris super eodem.* Or Chevalier (*b*) nous donne ces renseignements sur Jean de Murs : Musicien et Mathématicien, Docteur en Sorbonne, 1321-1345.

(*a*) Thurot, *Recherches historiques sur le Principe d'Archimède* (REVUE ARCHÉOLOGIQUE, nouvelle série, t. XIX, p. 117, 1869).

(*b*) U. Chevalier, *Bibliographie du moyen âge*, col. 1213.

Commentaire péripatéticien des Elementa Jordani sous lequel nous désignerons ce traité.

Le *Liber Euclidis de ponderibus* d'une part, le *Commentaire péripatéticien* contenu en notre manuscrit du XIIIe siècle d'autre part, ont été réunis en un seul ouvrage qui fut imprimé au XVIe siècle. Il parut en 1533, à Nüremberg, chez Joannes Petreius, sous ce titre (1) : *Liber Jordani Nemorarii, viri clarissimi, de ponderibus, propositiones* XIII *et earumdem demonstrationes, multarumque rerum rationes sane pulcherrimas complectens, nunc in lucem editus, cum gratia et privilegio imperiali, Petro Apiano, mathematico Ingolstadiano, ad* XXX *annos concesso.* MDXXXIII.

Voici comment le célèbre cartographe Peter Apian, professeur à l'Université d'Ingolstadt, s'y est pris pour composer ce petit livre :

Après une épître dédicatoire adressée à Léonhard van Eck, Vuolffeck et Randeck, il a reproduit le préambule par lequel débute le *Commentaire péripatéticien.* Viennent ensuite les postulats de Jordanus, puis treize propositions (neuf dues à Jordanus et quatre fournies par le *De canonio*). Ces propositions gardent l'ordre et la forme qu'elles avaient dans les traités qui les ont fournies, qu'elles avaient conservés dans le *Liber Euclidis* et dans le *Commentaire peripatéticien.*

Chaque proposition est suivie de deux démonstrations.

La première est la reproduction pure et simple des considérations données par le *Commentaire péripatéticien.*

La seconde, annoncée en général par ces mots : *Sequitur aliud commentum*, a pour squelette la démonstration donnée par le *Liber Euclidis*, démonstration qui est, elle-même, une amplification de la déduction primitive de

(1) Je dois à M. Goedseels, administrateur-inspecteur de l'Observatoire royal de Belgique, d'avoir pu consulter un exemplaire de cet ouvrage, conservé à la Bibliothèque de l'Observatoire ; j'adresse à M. Goedseels mes vifs remercîments pour sa très grande obligeance.

Jordanus ; Peter Apian rend ces raisonnements encore plus diffus et verbeux qu'ils ne l'étaient au *Liber Euclidis* ; il les surcharge de digressions géométriques ; c'est, notamment, au cours d'une de ces digressions qu'il cite par deux fois Campanus, citation qui fut attribuée à Jordanus lui-même et contribua à égarer les chronologistes à son sujet. Il y a loin de ces considérations longues et embrouillées aux raisonnements des *Elementa Jordani*, raisonnements dont la clarté et la sobriété révélaient, malgré de graves erreurs de principes, l'œuvre d'un véritable géomètre.

Revenons au *Commentaire péripatéticien* du XIIIe siècle qui a fourni à Peter Apian l'un des éléments constitutifs de son édition.

Ce commentaire commence par ces mots : « La science des poids est subordonnée tant à la géométrie qu'à la philosophie naturelle ; il est donc nécessaire qu'en cette science, certaines propositions reçoivent une preuve géométrique, d'autres une preuve philosophique ».

De suite, l'auteur se montre donc à nous comme un esprit beaucoup plus soucieux de regarder les lois de l'équilibre et du mouvement sous leur aspect philosophique que ne l'avaient été Jordanus et l'auteur du *Liber Euclidis*.

La lecture du *Commentaire* ne fait que rendre plus profonde cette première impression. A plusieurs reprises, au cours des discussions qu'il expose, l'auteur invoque les principes de la Physique d'Aristote. Ainsi, comme Jordanus, pour se rendre compte de la gravité *secundum situm* d'un point pesant placé sur un cercle, il suppose que le point descende le long d'un petit arc. Mais la conclusion à laquelle on parvient ainsi, valable lorsque le point est en mouvement, est-elle applicable à un point immobile ? L'auteur se formule à lui-même cette objection qui, si souvent et si longtemps, sera opposée à la méthode des déplacements virtuels. Pour y répondre, d'une manière bien obscure et bien peu concluante d'ailleurs, il regarde

le repos comme le *terme* du mouvement ; en cet état, la *nature* est entièrement en *acte*, tandis que, pendant la durée du mouvement, elle est partiellement en *puissance ;* ce sont les principes mêmes que développent, au sujet du mouvement naturel, les *Physicæ auscultationes*.

Mais si notre auteur est plus instruit ou plus soucieux de la Physique péripatéticienne que ne l'était Jordanus, il est certainement beaucoup moins bon géomètre et logicien beaucoup moins sûr. Aux raisonnements nets et précis du texte primitif des *Elementa Jordani*, il a presque toujours substitué de vagues considérations où nul ne saurait trouver trace d'un raisonnement concluant.

L'influence exercée sur Jordanus par les Μηχανικὰ προβλήματα ne nous paraît point niable ; Jordanus, cependant, a su repenser les idées qu'il tenait de cet écrit et leur imposer sa forme personnelle ; l'originalité de sa doctrine ferait même supposer qu'il n'a point eu connaissance directe et immédiate du traité d'Aristote. C'est d'une manière beaucoup plus servile que notre commentateur a suivi les *Questions mécaniques ;* pis que cela ! il leur a redemandé une conception erronée de la gravité *secundum situm* que Jordanus avait eu grand soin de délaisser.

Les *Questions mécaniques*, en effet, n'ont point la belle ordonnance logique que l'on remarque en la plupart des écrits d'Aristote ; des opinions différentes les unes des autres, contradictoires les unes avec les autres, s'y enchevêtrent parfois de telle sorte qu'il soit malaisé de les démêler ; ce manque d'ordre est assurément l'un des meilleurs arguments que puissent invoquer les critiques qui veulent attribuer cet écrit non pas au Stagirite, mais à quelqu'un de ses disciples.

Quelle est, selon Aristote, la cause qui fait varier la gravité d'un point pesant descendant le long d'un cercle ? Si l'on s'en tient aux passages que nous avons cités au Chapitre précédent, on voit que le Philosophe regarde cette gravité comme la résultante de deux forces : la gra-

vité naturelle et une résistance contre nature, dirigée suivant l'horizontale; ces deux forces sont entre elles comme les deux composantes du chemin parcouru par le poids sur sa trajectoire curviligne; ce qui doit donc être considéré, si l'on veut comprendre les effets de la gravité en un mouvement circulaire, c'est la longueur du chemin vertical qui correspond à un parcours donné sur le cercle, c'est l'*obliquité* de la trajectoire. C'est ainsi, en effet, que Jordanus a interprété la pensée d'Aristote, lorsqu'il l'a prise pour fondement de sa Statique.

Aux Μηχανικὰ προβλήματα, les passages qui comportent l'interprétation adoptée par Jordanus se trouvent entremêlés d'autres passages selon lesquels la gravité d'un point mobile sur une certaine trajectoire dépendrait non pas de l'*obliquité* de cette trajectoire, mais de sa *courbure*. Tel est, en particulier, le passage suivant :

« De deux mobiles mus par la même force dont l'un décrit une trajectoire qui s'incurve plus et l'autre moins, il est logique que celui qui parcourt la trajectoire la moins courbée se meuve plus vite que celui qui parcourt la trajectoire la plus courbée ; c'est ce qui semble arriver pour les mobiles qui se meuvent sur le plus grand et le plus petit de deux cercles décrits du même centre. Car le point décrivant le plus petit est plus près du point fixe que le point décrivant le plus grand ; aussi, comme s'il était tiré en sens contraire, c'est-à-dire vers le centre, le point décrivant le plus grand est porté plus vite que le point décrivant le plus petit. D'ailleurs, la même chose arrive à tout point décrivant un cercle ; il est porté selon la nature suivant la circonférence, et, contre la nature, de côté et vers le centre. Mais celui qui décrit le plus petit est porté d'un plus grand mouvement contre la nature. Car, par le fait qu'il est plus voisin du centre qui le retient, il en éprouve une plus grande force. »

C'est cet obscur passage qui paraît avoir surtout frappé l'attention de notre commentateur; cherchant à introduire

des considérations relatives à la courbure là où, fort sagement, Jordanus n'avait introduit que des évaluations d'obliquités, il change en confusion la clarté et la précision de son prédécesseur.

La valeur scientifique de notre *Commentaire péripatéticien* est donc nulle ; son influence ne s'en exercera pas moins très longtemps, et même sur de très grands géomètres ; Tartaglia, Guido Ubaldo, Mersenne n'y échapperont point entièrement.

3. *Le Précurseur de Léonard de Vinci. Découverte de la notion de moment. Solution du problème du plan incliné*

L'œuvre dont nous allons maintenant nous occuper est, au contraire, une des plus importantes qu'ait à mentionner l'histoire de la Mécanique.

Elle se trouve dans le manuscrit (1) même qui contient le *Commentaire péripatéticien* et elle fait suite à ce commentaire ; elle ne saurait donc être postérieure au XIIIe siècle, époque où fut copié (2) ce manuscrit ; elle se trouve également, plus correcte et illustrée de figures exactes, dans un autre manuscrit (3) du XIIIe siècle, sous le même titre : *Liber Jordanis de ratione ponderis* ; d'ailleurs, ces copies mêmes sont probablement très postérieures à l'original ; certaines démonstrations présentent des lacunes, des passages incompréhensibles que l'on ne saurait attribuer à l'auteur même de ce traité, car celui-ci était sûrement bon géomètre.

Ce traité fut imprimé au XVIe siècle. Tartaglia en laissa, parmi ses papiers, un exemplaire qu'il avait illustré de

(1) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, N° 7378 A.

(2) C'est la date assignée à ce Ms. par Thurot [*Recherches historiques sur le Principe d'Archimède* (REVUE ARCHÉOLOGIQUE, nouvelle série, t. XIX, p. 117, 1869)]. — D'ailleurs, l'écriture de ce Ms. est nettement du XIIIe siècle.

(3) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, N° 8680 A.

quelques figures ; il le légua au grand éditeur vénitien, Curtius Trojanus, qui était son ami, avec mission de le publier ; en effet, en 1565, Curtius Trojanus en fit un petit livre (1), auquel il adjoignit le *Traité des poids* du pseudo-Archimède et quelques déterminations expérimentales de poids spécifiques, dues à Tartaglia.

Curtius Trojanus donnait cet écrit comme le résultat de la correction apportée par Tartaglia au manuscrit primitif ; en fait, Tartaglia n'avait rien corrigé du tout. Si l'on compare le traité imprimé au texte manuscrit que nous avons eu en mains, on observe, de prime abord, une seule modification : la division en quatre livres, qui partage celui-ci, a disparu en celui-là. Quelques additions se laissent découvrir ; elles sont souvent fâcheuses. Presque toujours, le texte du manuscrit a été purement et simplement reproduit par l'imprimeur, mais par un imprimeur inhabile à déchiffrer une écriture du XIIIe siècle ; aussi les fautes, déjà nombreuses par le fait des copistes, arrivent-elles à foisonner ; *pondus* se change en *mundus*, *regula* est constamment remplacé par *responsa*. Les figures, d'ailleurs, valent le texte ; gravées par un artiste qui n'en comprenait point l'objet, marquées de lettres indistinctes qui s'accordent à peine avec les notations du raisonnement, si mal orientées que les horizontales se changent parfois en verticales, elles contribuent à augmenter encore le désordre et la confusion.

Tout concourait, en un mot, à rendre méconnaissables les idées mécaniques nouvelles qui distinguaient ce traité des *Elementa Jordani*.

Ces idées, nous allons les analyser ; mais une question se pose à leur sujet : Quel est le géomètre qui les a conçues ? A cette question, il ne nous est point possible de répondre. Les manuscrits qui nous les ont conservées

(1) Jordani *Opusculum de ponderositate*, Nicolai Tartaleæ studio correctum novisque figuris auctum. Venetiis, apud Curtium Trojanum, MDLXV.

les donnent comme de Jordanus. Or, le traité de Jordanus a été, il est vrai, le germe qui a produit l'écrit qui nous occupe ; mais celui-ci ne saurait être regardé comme un simple développement de celui-là ; rectifiant en plusieurs points ce que les *Elementa Jordani* contenaient d'erroné, il développe de la manière la plus heureuse les indications justes que renfermait ce petit ouvrage ; il constitue une œuvre originale et forte ; la citer sous le nom de Jordanus de Nemore serait grossir le patrimoine, déjà si riche, de cet auteur en lui attribuant un bien qui n'est point le sien. Ignorant d'autre part le nom de celui qui a légitimement acquis ce bien, nous le désignerons comme le *Précurseur de Léonard de Vinci*. Nous verrons, en effet, que les pensées de ce géomètre inconnu ont exercé sur l'œuvre mécanique du grand peintre une profonde et fécondante influence.

Le quatrième livre du traité composé par le précurseur de Léonard concerne la Dynamique bien plutôt que la Statique ; il y est parlé surtout de l'influence qu'un milieu fluide, tel que l'air ou l'eau, exerce sur les corps qui se meuvent en son sein. On ne s'attend point, sans doute, à ce qu'un mécanicien du XVIe siècle émette des idées bien exactes et bien profondes au sujet de ces problèmes qui, aujourd'hui encore, nous paraissent presque inabordables. Ces idées, en tout cas, n'auraient point à figurer dans une étude sur les Origines de la Statique. Nous mentionnerons, cependant, quelques-unes des opinions émises par notre auteur touchant la Dynamique, car très originales, très aisées à reconnaître, elles nous permettront de retrouver sa marque dans les écrits de ses successeurs et, particulièrement, de Léonard de Vinci.

Tout milieu gêne le mouvement d'un mobile qui le traverse (1) ; cet obstacle apporté au mouvement dépend, d'ailleurs, d'une foule de circonstances. Il dépend, en

(1) *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstio XXIX.

premier lieu, de la forme du mobile (1), qui pénètre d'autant mieux le milieu que sa figure est plus aiguë et la surface plus lisse. Il dépend, en second lieu, de la densité du fluide traversé (2) ; un milieu plus dense se laisse moins aisément traverser qu'un milieu moins dense ; l'eau résiste plus que l'air. Selon notre auteur, tout milieu est compressible ; les couches supérieures d'un fluide pressant les couches inférieures, celles-ci se trouvent être plus denses que celles-là (3) ; les couches profondes gêneront donc le mouvement plus que les couches superficielles (4).

A la proue du mobile, se trouve une portion du milieu comprimée et adhérente au mobile (5) ; mais d'autres portions du milieu, chassées par le mobile, se recourbent en arrière pour venir occuper l'espace qu'il laisse vide (6) ; ce mouvement courbe des parties latérales du milieu peut être comparé à la flexion de l'arc ; lorsque, en un corps, la partie moyenne est immobilisée, une impulsion exercée sur les parties extrêmes incurve aisément ce corps (7).

Aristote attribuait au mouvement du milieu la conservation du mouvement du projectile après que celui-ci a quitté son moteur. Cette opinion avait été suivie par Alexandre d'Aphrodisias, par Themistius, par Simplicius, par Averroës et par saint Thomas d'Aquin. Ce que notre auteur attribue au mouvement du milieu, ce n'est pas la conservation du mouvement du projectile, mais l'accélération de ce mouvement ; c'est le mouvement de l'air qui explique l'accélération de la chute des graves, accélération déjà connue d'Aristote et de ses commentateurs et considérée par eux comme l'effet d'un accroissement de pesanteur. Citons le passage où le Précurseur de

(1) *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstio XXXV.
(2) *Ibid.*, Quæstio XXX.
(3) *Ibid.*, Quæstio XXXIII.
(4) *Ibid.*, Quæstio XXXII.
(5) *Ibid.*, Quæstio XLII.
(6) *Ibid.*, Quæstio XLIII.
(7) *Ibid.*, Quæstio XLI.

Léonard de Vinci formule cette curieuse théorie de la chute accélérée (1) :

« *Une chose grave se meut d'autant plus rapidement qu'elle descend plus longtemps.* Ceci est plus vrai dans l'air que dans l'eau, car l'air est propre à toutes sortes de mouvements. Donc un grave qui descend, tire, en son premier mouvement, le fluide qui se trouve derrière lui et met en mouvement le fluide qui se trouve au-dessous, à son contact immédiat ; les parties du milieu ainsi mises en mouvement meuvent celles qui les suivent, de telle sorte que celles-ci, déjà ébranlées, opposent un moindre obstacle au grave qui descend. Par le fait, il devient plus grave et donne une plus forte impulsion aux parties du milieu qui cèdent devant lui, au point que celles-ci ne sont plus simplement poussées par lui, mais qu'elles le tirent. Il arrive ainsi que la gravité du mobile est aidée par leur traction et que, réciproquement, leur mouvement est accru par cette gravité, en sorte que ce mouvement augmente continuellement la vitesse du grave. »

Cette explication de la chute accélérée des corps graves paraît avoir été inconnue des anciens ; Simplicius, qui énumère les diverses opinions de ses prédécesseurs sur ce phénomène, ne la mentionne pas ; elle fut, au contraire, favorablement accueillie par maint auteur du moyen âge ou de la Renaissance. Walter Burley (Burlæus), écrivant en la première moitié du XIVe siècle ses commentaires sur Aristote, l'adopta dans ses commentaires au *Liber II, Cap. 76* des *Physicæ Auscultationes*. Les quelques pensées touchant l'influence que le milieu exerce sur la chute des graves, dont nous venons de reproduire l'expression, semblent avoir été, pour Léonard de Vinci, une sorte de bréviaire, constamment médité, où il a puisé bon nombre de ses opinions au sujet de la Dynamique. Ces opinions, nous les retrouvons dans les écrits de Cardan. L'explica-

(1) *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstio XXXIV.

tion que notre auteur du XIIIe siècle avait donnée de la chute accélérée des graves fut également acceptée par le Cardinal Gaspard Contarini, au premier livre de son *De elementis*, imprimé en 1548, six ans après la mort de son auteur. En 1576, Benedictus Pererius la fit sienne en son *De communibus omnium rerum naturalium principiis*. Gassendi, enfin, l'admettait encore en 1640, dans ses *Epistolæ tres de motu impresso a motore translato* ; il l'abandonna seulement en 1645, dans une lettre adressée au P. Casrée, lettre où la théorie actuelle de la chute accélérée des graves se trouva, pour la première fois, formulée d'une manière complète.

On conçoit par là le rôle essentiel qu'a joué notre géomètre du XIIIe siècle dans le développement de la science du mouvement.

Mais ce rôle n'est point celui qui doit, en ce moment, arrêter notre attention ; notre objet est d'évaluer l'apport du précurseur de Léonard à la science de l'équilibre ; cet apport, nous l'allons voir, est des plus riches.

Du traité que nous analysons, les trois premiers livres sont consacrés à la Statique ; le second livre, réservé à des problèmes qui se rattachent au *De canonio*, contient peu d'idées nouvelles ; le premier et le troisième nous retiendront seuls.

Le premier livre débute exactement comme les *Elementa Jordani* ; les mêmes axiomes se succèdent dans le même ordre. Dans les deux écrits, la première proposition énonce sous la même forme le principe fondamental de la Dynamique péripatéticienne. Mais, dès la seconde proposition (1), on voit s'affirmer l'originalité du Précurseur de Léonard.

Il s'agit d'une proposition dont nous avons analysé, au Chapitre précédent, l'énoncé et la démonstration.

Jordanus considérait un levier *bc* (fig. 21), mobile

(1) Liber primus, Prop. II. — *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstio II.

autour du point *a*, et dont les bras égaux portaient des poids égaux ; ce levier était écarté de l'horizontale de telle manière que le poids *b* soit abaissé et le poids *c* élevé ; dans une telle position, le poids *c* devait être plus grave que le poids *b*, parce que la descente le long de l'arc *cd* est moins oblique que la descente le long de l'arc égal *bg*.

Le Précurseur de Léonard emprunte, il est vrai, à

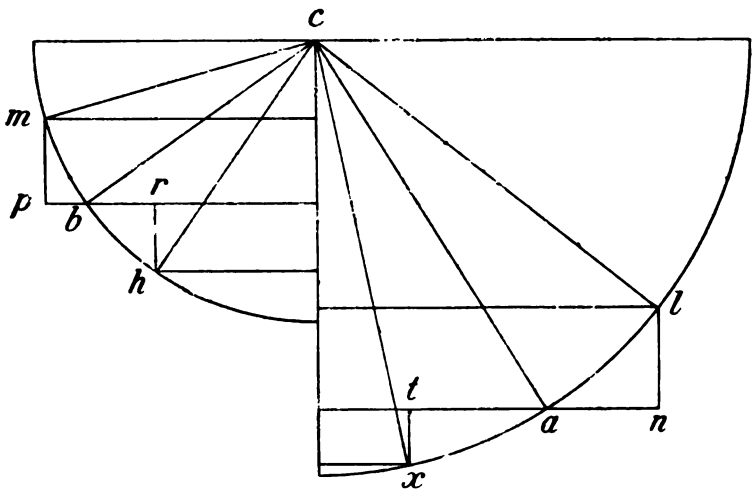

fig. 24.

Jordanus et l'énoncé et la démonstration de cette proposition ; mais il fait suivre la démonstration de quelques considérations qui en sont une réfutation concluante.

L'excès de l'obliquité de l'arc *bg* sur l'obliquité de l'arc *cd*, dit en effet notre auteur, peut être rendu plus petit que n'importe quelle quantité ; de telle sorte que si l'on place en *c* un certain poids et en *b* un poids qui surpasse le poids *c* de n'importe quelle quantité fixe, le poids *b* descendra et fera monter le poids *c*.

Après avoir apporté cette correction à une erreur de Jordanus, notre auteur reproduit, sans leur apporter aucune modification essentielle, quelques-unes des propo-

sitions de son prédécesseur ; il lui emprunte, en particulier, sa belle démonstration de l'équilibre du levier droit. Il arrive enfin à ce problème (1) :

Une balance (fig. 24) a deux bras inégaux *ca*, *cb*, qui font entre eux un certain angle ; les deux points *a*, *b*, sont équidistants de la verticale qui passe par le point d'appui *c* ; ils portent des poids égaux ; la balance est-elle ou n'est-elle pas en équilibre ?

Jordanus avait traité ce problème ou, du moins, un cas particulier de ce problème ; il avait conclu que la balance n'était pas en équilibre dans les conditions prescrites et que le poids porté par le moindre bras *cb* l'emportait sur le poids pendu au grand bras *ca*.

Le Précurseur de Léonard donne, au contraire, au problème énoncé cette réponse correcte : La balance demeurera en équilibre. Mais il ne se contente pas de formuler cette réponse exacte ; il la justifie par une démonstration des plus remarquables.

De part et d'autre du bras *ca*, il trace deux rayons *cx*, *cl*, faisant avec *ca* des angles égaux ; de même, de part et d'autre du bras *cb*, il mène deux rayons *ch*, *cm*, faisant avec *cb* des angles égaux entre eux et égaux aux précédents.

Cela posé, il se demande si le poids *a* pourra l'emporter sur le poids *b*, et il déclare que cela ne se pourra pas ; car alors les bras *ca*, *cb* du levier viendraient respectivement en *cx*, *cm* ; le poids *a*, descendant de la hauteur *tx*, ferait monter le poids *b*, qui lui est égal, d'une hauteur *pm*, supérieure à *tx*. De même, le poids *b* ne saurait l'emporter sur le poids *a*, car le bras *cb* viendrait en *ch* tandis que le bras *ca* viendrait en *cl* ; et le poids *b*, s'abaissant de la longueur *rh*, élèverait le poids égal *a* d'une longueur *nl* supérieure à *rh*.

Cette démonstration offre une parenté évidente avec

(1) Liber primus, Prop. VIII. — *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstio VIII.

celle que Jordanus a donnée pour la loi d'équilibre du levier ; mais cette nouvelle application de la méthode des déplacements virtuels présentait certaines difficultés que la première ne rencontrait pas ; en effet, dans le cas du levier droit, l'équilibre est indifférent, en sorte que tout déplacement virtuel fini correspond à un travail de la puissance exactement égal au travail de la résistance ; dans le cas du levier coudé, l'équilibre est stable ; l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant n'a plus lieu, sauf pour les déplacements infiniment petits qu'un géo-

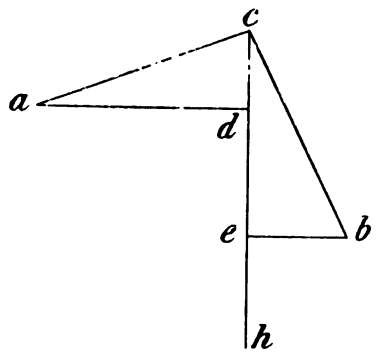

fig. 25.

mètre du XIIIe siècle n'aurait su traiter ; ces difficultés, le Précurseur de Léonard de Vinci a su les surmonter de la manière la plus heureuse.

En combinant la démonstration que nous venons de rapporter avec ce principe : « Ce qui suffit à élever un certain poids à une certaine hauteur suffit aussi à élever un poids *n* fois moindre à une hauteur *n* fois plus grande », principe implicitement admis dans la démonstration que Jordanus avait donnée de la loi d'équilibre du levier droit, on obtient sans peine la condition d'équilibre d'un levier coudé quelconque dont les bras portent des poids quelconques.

Cette règle, le Précurseur de Léonard la connaît, en

effet, et il la démontre précisément par la voie que nous venons d'indiquer. Si, dit-il (1), une balance coudée *acb* (fig. 25) porte en *a* et *b* des poids inégaux, elle s'orientera de telle sorte que les distances *ad*, *be*, des points *a* et *b* à la verticale *ch* du point de suspension soient en raison inverse des poids qui sont pendus en ces mêmes points.

Ces règles peuvent encore s'énoncer ainsi : L'effet d'un poids qui pend à l'extrémité d'un bras de levier incliné d'une manière quelconque est mesuré par le *moment* de ce poids par rapport à la verticale du point d'appui.

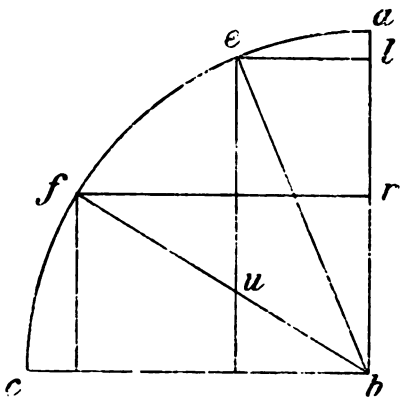

fig. 26.

Cette manière d'envisager les problèmes dont nous venons de parler n'échappe point à notre auteur. « Si, dit-il (2), on soulève un fardeau, et si l'on connaît la longueur de son support, on peut, en toute position, déterminer ce que pèse ce fardeau... Le poids de ce fardeau porté en *c* par le support *be* (fig. 26), sera au poids porté en *f* par *fb* comme *cl* est à *fr* ou comme *pb* est à *xb*... Le poids placé

(1) Liber tertius, Propositiones I et II. — *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstiones XXIII et XXIV.

(2) Liber tertius, Propositio V. — *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstio XXVII. En cette proposition, le copiste a introduit des erreurs qui, parfois, rendent méconnaissable la pensée de l'auteur.

en *e* à l'extrémité du levier *be* pèsera comme s'il était en *u* sur le levier *bf*. »

Ainsi se trouve complétée et mise sous forme quantitative la loi que Jordanus avait énoncée et qui désignait la gravité *secundum situm* comme diminuant au fur et à mesure que le bras de levier se rapproche de la verticale.

Cette notion acquise, il est aisé de reconnaître qu'une balance est en équilibre stable lorsqu'en joignant le point d'appui aux points de suspension des poids, on forme un angle dont le sommet est dirigé vers le haut ; notre auteur a sûrement aperçu cette vérité (1). Si le même angle est tourné vers le bas, le seul état d'équilibre dont la balance soit susceptible est un état d'équilibre instable ; le Précurseur de Léonard formule nettement cette proposition (2) qui contredit une affirmation des *Quæstiones mechanicæ* ; Aristote, en effet, avait prétendu qu'un tel état d'équilibre était indifférent.

La loi d'équilibre du levier coudé, obtenue par une ingénieuse application du principe des déplacements virtuels, la notion de moment clairement évaluée, ce sont là des découvertes qui suffiraient à assurer au Précurseur de Léonard une place de choix parmi les créateurs de la Statique. Mais elles n'épuisent pas la liste des trouvailles dont il a enrichi la Mécanique; cette science lui doit encore d'avoir résolu le problème du plan incliné.

Un seul géomètre de l'antiquité, Pappus, s'était occupé de ce problème ; il en avait donné une solution, inexacte d'ailleurs, dont nous aurons à parler au prochain Chapitre ; cette solution ne semble pas avoir été connue des mécaniciens du moyen âge ; elle n'a exercé sur leurs recherches aucune influence.

Il est surprenant que Jordanus de Nemore n'ait pas

(1) Liber primus, Propositio VIII. — *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstio VIII.

(2) Liber primus, Propositio VIII, et Liber tertius, Propositio III. — *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstiones VIII et XXV.

songé à reprendre le problème du plan incliné ; en aucune question, la notion de *gravitas secundum situm* ne pouvait être d'une application plus simple et plus obvie ; les mouvements circulaires, seuls considérés par ce grand géomètre, se prêtaient beaucoup moins aisément à la considération de cette gravité.

Si Jordanus avait songé à traiter par ses principes le problème du plan incliné ; si, non content d'affirmer que la gravité *secundum situm* est d'autant plus grande qu'un trajet donné, compté sur la trajectoire, *prend* davantage *du direct*, il avait admis que la gravité *secundum situm*

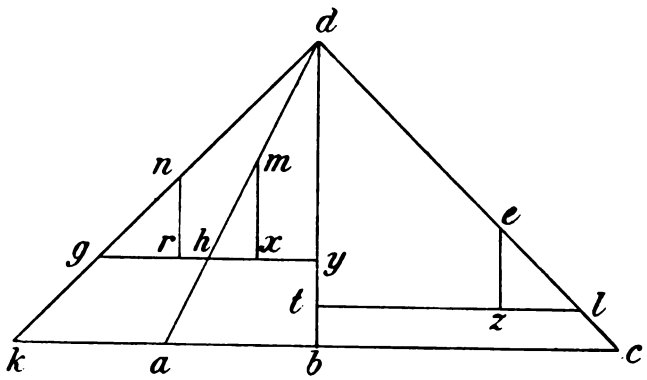

fig. 27.

est proportionnelle à la longueur de ce *direct* pris par une chute oblique de longueur donnée, il eût, du premier coup, triomphé là où Pappus avait échoué. Encore une fois, cette application s'offrait si naturellement aux postulats des *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis* que l'on est surpris de voir l'auteur de ce traité laisser à autrui l'honneur de la faire.

Cet honneur était réservé au Précurseur de Léonard.

Celui-ci remarque d'abord (1) que la gravité *secundum*

(1) Liber primus, Propositio IX. — *Édition de Curtius Trojanus*. Quæstio IX.

situm d'un poids qui repose sur un plan incliné est la même quelle que soit la position de ce poids sur le plan ; puis il aborde la comparaison des valeurs que prend cette gravité sur des plans diversement inclinés. Traduisons *in extenso*, d'après le texte manuscrit du XIIIe siècle, l'énoncé et la démonstration de cette proposition capitale (1) :

« *Si deux poids descendent par des chemins diversement inclinés, et que les poids soient directement proportionnels aux déclinaisons, ces deux poids seront de même vertu dans leur descente.*

» Soit *ab* (fig. 27) une horizontale, et soit *bd* une verticale ; supposons que, de part et d'autre de celle-ci, descendent deux obliques *da*, *dc*, et que *dc* soit d'une plus grande obliquité relative ; par rapport des obliquités, j'entends le rapport des déclinaisons, non le rapport des angles, c'est-à-dire le rapport des longueurs des lignes comptées jusqu'à leur intersection avec l'horizontale, de telle sorte qu'elles prennent semblablement du direct.

» En second lieu, soient *e* le poids placé sur *dc*, *h* le poids placé sur *da*, et supposons que *e* soit à *h* comme *dc* est à *da*. Je dis que, dans une telle situation, ces deux poids auront même vertu.

» Soit, en effet, *dk* une ligne ayant même obliquité que *dc* et, sur cette ligne, un poids *g* égal à *e*.

» Que le poids *e* descende en *l* si cela est possible, et qu'il tire (2) le poids *h* en *m* ; prenons *gn* égal à *hm* et, par conséquent, à *el*. Par les points *g*, *h*, faisons passer une perpendiculaire à *db* ; soit *ghy* cette ligne. Du point *l*, abaissons sur *db* la perpendiculaire *lt*. Puis abaissons *nr*, *mx* perpendiculaires sur *ghy*, et *ez* perpendiculaire sur *et*. Le rapport de *nr* à *ng* est celui de *dy* à *dg* et aussi

(1) Liber primus, Propositio IX. — *Édition de Curtius Trojanus*, Quæstio IX.

(2) Il est clair que l'auteur imagine les deux poids reliés par un fil qui, en *d*, passe sur une poulie.

celui de *db* à *dk* ; de même, le rapport de *mx* à *mh* est celui de *db* à *da*. Donc *mx* est à *nr* comme *dk* est à *da*, c'est-à-dire comme le poids *g* est au poids *h*. Mais comme *e* ne pourrait pas hisser *g* en *n*, il ne pourra pas non plus hisser *h* en *m*. Les poids demeureront donc en équilibre. »

La démonstration est calquée sur celle que Jordanus a donnée de la loi d'équilibre du levier ; elle met en jeu le même postulat implicite : *Ce qui peut élever le poids* P *à la hauteur* H, *peut aussi élever le poids* $\frac{P}{\lambda}$ *à la hauteur* λH. Après avoir donné à Jordanus une preuve convaincante de la loi d'équilibre du levier droit, ce postulat a permis au Précurseur de Léonard de Vinci de résoudre les deux problèmes du levier coudé et du plan incliné. La fécondité de ce principe se manifeste donc clairement dès le XIIIe siècle ; jusqu'à nos jours, elle ne cessera plus de produire ses conséquences. Ce principe est la véritable origine de la méthode des variations virtuelles dont l'ampleur et la puissance font l'admiration des physiciens modernes. Né des méditations de Jordanus et du Précurseur de Léonard, il se développera en l'œuvre de Léonard, de Guido Ubaldo, de Galilée, de Roberval, de Descartes, de Jean Bernoulli, pour prendre son plein épanouissement dans les écrits de Lagrange et de J. Willard Gibbs.

Mais avant que nous puissions apprécier exactement l'influence exercée par le Précurseur de Léonard sur les recherches mécaniques du grand peintre, il nous faut encore analyser un dernier traité issu de l'École de Jordanus.

4. *Le* Traité des poids *selon Maître Blaise de Parme*

Biagio Pelacani, autrement dit Blasius de Parma, appartient à une famille de Parme qu'ont illustrée divers médecins, savants et philosophes ; tel Antoine Pelacani,

qui mourut à Vérone en 1327 ; tel encore François Pelacani, qui exerçait la médecine à Parme en 1438.

Blaise (1) était également médecin ; mais comme bon nombre de médecins de cette époque, il n'était étranger à aucune science. Ayant été reçu Docteur de l'Université de Pavie en 1374, il enseigna l'astrologie à Bologne de 1378 à 1384 ; il professa ensuite à Padoue jusqu'en 1388, puis, de nouveau, à Bologne ; en 1404, 1406, 1407, nous le revoyons à Pavie ; il trouve également le temps de se rendre à Paris ; de 1408 à 1411 il reprend sa chaire de Padoue et meurt à Parme, sa ville natale, le 23 avril 1416. Tiraboschi le qualifie de « filosofo e matematico insigne » ; en effet, Luca Paciolo le cite parmi les auteurs dont il s'est servi pour écrire sa *Summa de arithmetica geometria ;* Léonard de Vinci et Cardan font mention de ses recherches de Statique ; certains de ses écrits, notamment son commentaire au *De latitudinibus formarum* de Nicolas Oresme, furent imprimés (2) au XVIe siècle. Mais il semble avoir dû aux défauts de son caractère ses nombreux changements de résidence ; à Padoue, les étudiants, irrités de sa grossièreté et de son avidité, refusèrent de suivre ses cours ; les Parisiens, enfin, avaient composé à son sujet ce dicton peu flatteur : « C'est le diable, à moins que ce ne soit Blaise de Parme — *Aut diabolus, aut Blasius Parmensis* ».

Le manuscrit (3) qui nous a conservé le *Tractatus de*

(1) Voir : Affò, *Scrittori parmigiani*, Parma, 1789 ; t. II, pp. 112, 118, 123. — Tiraboschi, *Storia delle lettere italiane*. 1807, t. VI, I, pp. 338-339. — Gherardi, *Di alcuni materiali per la storia della facoltà matematica nell' antica università di Bologna*, Bologna. 1846.

(2) Bassiani politi Laudens, *De numero modalium ;* — Ejusdem, *Tractatus proportionum.* — Nicolaï Horen, *Proportiones ;* — Ejusdem. *De latitudinibus formarum.* — Blasii de Parma, *De latitudinibus formarum ; De sex inconvenientibus.* — Joannis de Lasali, *De velocitate motus alterationis.* — Blasii de Parma, *De tactu corporum durorum.* Venetiis, mandato et sumptibus heredum Oct. Scoti Modoctiens, per Bonetium Locatellum Bergom. Kal. Sept. MDV.

(3) *Bibliothèque Nationale*, fonds latin, N° 10 252.

ponderibus secundum Magistrum Blasium de Parma est dû à la plume d'Arnaud de Bruxelles ; celui-ci en acheva la copie, à Naples, le 5 janvier 1476.

Trois parties composent cet ouvrage, où Blaise Pelacani a tenté d'exposer sous une forme coordonnée les doctrines de l'École de Jordanus ; ce but, d'ailleurs, est imparfaitement atteint et plus d'une incohérence peut être signalée au cours de ce *Traité des poids*.

La troisième partie est consacrée à l'Hydrostatique ; elle sera pour nous d'un grand intérêt au jour où nous étudierons la formation de cette science ; visiblement, Blaise de Parme a fait usage, pour la composer, du *Traité des poids* faussement attribué à Archimède — qu'il nomme *Alaminide*. Mais ce livre n'est point le seul qu'il ait consulté ; il donne de l'aréomètre à poids constant une description assez semblable à celle que l'on trouve dans un certain *Carmen de ponderibus* ou *de ponderibus et mensuris*, que la collection des *Poetæ latini minores* attribue, faussement d'ailleurs, à Priscien. Comme ce n'est point l'histoire de l'Hydrostatique, mais celle de la Statique générale qui nous occupe ici, nous ne nous attarderons pas à l'étude de cette troisième partie, qu'il nous suffira d'avoir signalée.

Les deux premières parties du traité de Blaise de Parme sont consacrées à l'étude de la Statique ; la Statique qui y est exposée se rattache nettement à l'École de Jordanus ; mais il ne paraît pas que Biagio Pelacani ait fait usage du texte primitif de Jordanus de Nemore ; son ouvrage est une sorte de synthèse du livre que nous avons nommé le *Commentaire péripatéticien* et du traité composé par l'auteur inconnu que nous avons appelé le Précurseur de Léonard de Vinci. D'autres écrits, d'ailleurs, inconnus de nous, ont peut-être contribué à cette formation ; ainsi la première partie du livre de Blaise de Parme porte assurément la trace du commerce de l'auteur avec le préambule du *Commentaire péripatéticien* ; mais, parmi

les propositions géométriques qui y sont démontrées, deux théorèmes sont précisément ceux que Jordanus invoque comme établis dans le *Philotechnes ;* le préambule du *Commentaire péripatéticien* mentionne un seul de ces deux théorèmes ; Blaise de Parme n'aurait-il point eu en mains ce *Philotechnes* aujourd'hui ignoré ?

L'influence exercée par le *Commentaire péripatéticien* sur l'esprit de Blaise de Parme est particulièrement nette au cours de la première partie de son traité. Dès la première phrase, la parenté des deux ouvrages s'affirme : « Cum scientia de ponderibus sit subalternata tam geometriæ quam philosophiæ naturali... », dit, en débutant, l'auteur du XIIIe siècle ; et Pelacani commence son écrit par ces mots : « Scientia de ponderibus philosophiæ naturali vere dicitur subalternari ».

C'est, d'ailleurs, la plus pure physique péripatéticienne qui guide Biagio Pelacani vers la notion de gravité *secundum situm*. « Un grave, dit-il, que l'on place hors de son lieu naturel tend à descendre par la corde plutôt que par l'arc ; car, lorsqu'il est hors de son lieu naturel, où il doit demeurer pour sa conservation et sa perfection, il tend à rejoindre ce lieu le plus rapidement possible, partant, par le chemin le plus court. Un grave sera donc d'autant plus lourd qu'il descendra plus droitement au centre ; l'obliquité ou la courbure de sa trajectoire diminuent sa gravité de situation. » Dans bien des cas, d'ailleurs, Blaise de Parme, s'écartant de Jordanus, mais se rapprochant du *Commentaire péripatéticien*, attribue la diminution de gravité non à l'obliquité, mais à la courbure.

De la notion de *gravitas situalis*, Blaise de Parme tire de suite un curieux corollaire, que nous n'avons point trouvé chez ses prédécesseurs : « Lorsqu'on éloigne du centre du monde une balance dont les bras égaux sont chargés de poids égaux, ces poids semblent d'autant plus lourds que la balance est placée plus haut. » En effet, la ligne selon laquelle chacun des poids tend à tomber fait

avec la verticale qui passe par le point d'appui du fléau un angle d'autant plus aigu que la balance est plus loin du centre du monde. Il est piquant de remarquer que Mersenne et Descartes reprendront presque textuellement la même argumentation.

La seconde partie du traité de Biagio Pelacani est essentiellement formée, comme le *Commentaire péripatéticien*, comme le *Liber Euclidis de ponderibus*, par la

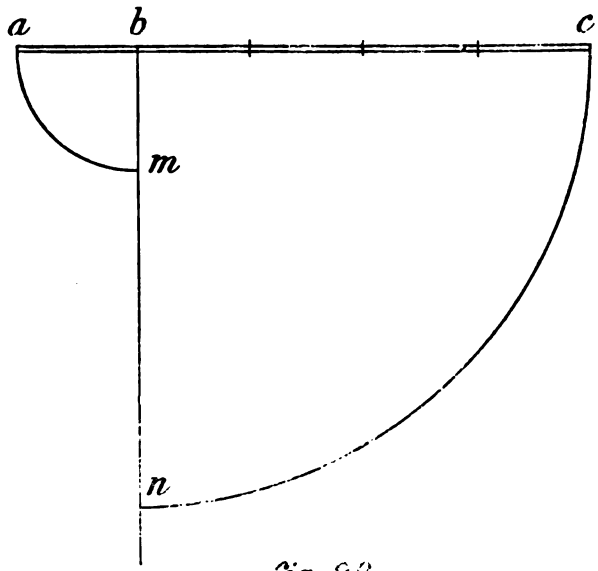

fig. 28.

réunion des *Elementa Jordani* et du *De canonio*. Entre ces deux ouvrages ainsi soudés, Blaise de Parme a tenté d'effacer toute disparate ; la première proposition du *De canonio* ne renvoie plus « aux livres qui traitent de ces choses » ; elle invoque le dernier théorème démontré par Jordanus ; dans les propositions empruntées à ce dernier auteur (qui, d'ailleurs, n'est jamais nommé), le fléau de la balance reçoit parfois de Pelacani le nom de *canonium*. La soudure des deux écrits hétérogènes n'en demeure pas

moins visible, à peine se cache-t-elle sous ce semblant de transition : « Nunc, datis ponderibus, volo notitiam brachiorum indagare ».

C'est encore le *Commentaire péripatéticien* qui inspire à Blaise de Parme, fort malheureusement d'ailleurs, la plupart des démonstrations données en sa seconde partie.

Prenons, par exemple, la démonstration qu'il substitue, lorsqu'il veut justifier la loi d'équilibre du levier, au raisonnement, si riche en conséquences, qu'avait donné Jordanus.

Il considère un levier (fig. 28) dont le grand bras *bc* soit quadruple du petit bras *ab* ; il trace les arcs de cercle *am*, *cn* que décriraient, dans leur descente, des poids placés en *a* et *c*. Si ces poids sont égaux, ils ne pourront se faire équilibre « car le quadrant *am* est plus courbé que le quadrant *cn*, en sorte que le poids pendant au grand bras sera plus lourd dans le rapport même où le quadrant correspondant est plus droit... Et comme la rectitude du quadrant *cn* est à la rectitude du quadrant *am* dans le même rapport que *bc* à *ab*, la gravité de situation du poids placé en *a* sera quadruple de la gravité de situation du poids égal pendu en *b*. »

Blaise de Parme, toutefois, n'est point sans subir l'influence du Précurseur de Léonard de Vinci ; c'est à cet auteur, on n'en saurait douter, qu'il emprunte l'énoncé et la démonstration que voici :

Il suppose que des poids égaux soient fixés aux points *a* et *c* (fig. 29) d'une ligne *abc*, dont *b* est le milieu ; il suppose, en outre, que le point d'appui se trouve en *o*, sur la verticale du point *b*, mais au-dessous de ce point ; dans ces conditions, il déclare qu' « il sera difficile de mettre les poids en équilibre ».

« Supposons, en effet, que *a* descende aussi peu que l'on voudra; le bras auquel le poids *a* est fixé devient plus long, tandis que l'autre bras devient plus court ; par con-

séquent, *a* devient continuellement plus lourd et *c* plus léger. »

Malheureusement, lorsque Blaise de Parme emprunte ses énoncés au Précurseur de Léonard, il ne lui emprunte pas toujours ses démonstrations.

Il considère, par exemple, un levier coudé *acb* (fig. 24) dont les bras *ca*, *cb* sont inégaux, mais se terminent en des points *a*, *b* équidistants de la verticale qui passe par le point de suspension *c*. D'accord avec le Précurseur de Léonard, Pelacani affirme que des poids égaux, placés en *a* et *c*, se feront équilibre ; mais à la belle démonstration donnée par son prédécesseur, il substitue

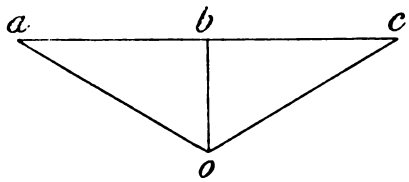

fig. 29.

des considérations où l'on ne saurait apercevoir trace de preuves.

En lisant l'écrit du Précurseur de Léonard, Blaise de Parme n'a pas pu ne pas remarquer la théorie du plan incliné; mais il ne semble pas avoir compris la beauté et la rigueur de cette théorie. Il paraît seulement avoir été frappé de ce fait, qui lui semblait paradoxal: Un poids, glissant sur un plan fortement incliné, peut obliger un poids plus considérable que lui à monter le long d'un plan plus faiblement incliné. Voici, du reste, le curieux passage où il expose sa pensée :

«... Et ceci peut encore se démontrer en vertu de notre sixième principe, de la manière suivante : Tout grave désire descendre par la ligne verticale et non point par un arc de courbe, pourvu que ce grave soit abandonné à son

naturel. Soit donc *hg* la verticale (fig. 30). Il suit de ce que nous avons prouvé que moins une descente diffère de la descente *gh*, plus cette descente participe du naturel, les poids considérés étant toujours égaux. De là résulte ce que nous nous proposons de démontrer.

» Qu'il en soit ainsi, cela est évident. Menons les deux lignes droites *cg* et *ag*, desquelles la ligne *cg* est moins distante du chemin vertical que la ligne *ag*; l'angle *cag* est plus aigu que l'angle *acg* ; cet angle *cag* découpe un plus petit arc.

» Mais ici un doute se présente à l'esprit : Le poids *c*

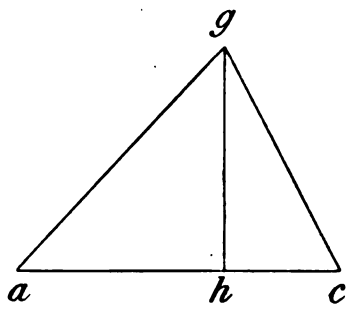

fig. 30.

pourrait donc soulever un poids plus lourd que le poids *a* qui lui est égal ? Et, de suite, il apparaît qu'il en doit être ainsi. Puis, en effet, que le poids *c*, dans une telle situation, est plus lourd que le poids *a*, sa gravité en cette situation surpasse celle du poids *a* d'un certain excès. Il en résulte donc que le poids *c* peut soulever un poids plus lourd que *a* lui-même. Sinon, la puissance active admettrait un terme affirmatif *per maximum*.

» Mais cette conclusion semble impliquer contradiction ; car il est certain que *c* et *a* sont également graves, ce qui entraîne nécessairement cette conclusion : Ce qui est plus lourd que *a* est aussi plus lourd que *c*. Il en résulte que si l'on met en balance avec *c* quelque chose qui soit plus

lourd que a, ce poids a descendra nécessairement jusqu'en bas, conformément à notre troisième conclusion.

» De cette instance, je ne dirai rien ici... *Videant tamen philosophantes.* »

Pelacani semble, d'ailleurs, avoir été un esprit paradoxal et sceptique ; il se complaît à signaler des conséquences surprenantes, à opposer les unes aux autres des propositions contradictoires, à soulever des objections contre les théorèmes donnés par ses prédécesseurs. Les résistances passives, dont la considération ne paraît guère avoir préoccupé les géomètres de l'École de Jordanus, inquiètent Blaise de Parme. Il observe que ces résistances empêchent de conclure sûrement de l'équilibre de la balance à l'égalité des poids mis dans les plateaux. Il remarque que l'exactitude de plus d'une proposition de Statique exige que l'on fasse abstraction de toute résistance de la part du milieu. Il tente même, sous une forme bien naïve d'ailleurs, de traiter un problème d'équilibre en tenant compte de cette résistance.

Certes, le traité de Blaise de Parme n'a pas la puissante originalité de l'écrit composé par cet auteur inconnu que nous avons nommé le Précurseur de Léonard ; il ne contient rien qui ait influé d'une manière heureuse sur le développement de la Statique ; il représente seulement un monument curieux des connaissances répandues, au début du xve siècle, parmi les physiciens. Mais il n'est point sans intérêt pour l'étude que nous poursuivons ; il est, en effet, nous l'allons voir, un des canaux par lesquels la Mécanique du moyen âge est parvenue jusqu'à Léonard de Vinci et jusqu'à Cardan.

CHAPITRE VIII

LA STATIQUE DU MOYEN AGE ET LÉONARD DE VINCI

La science ne connaît point de génération spontanée. Les découvertes les plus imprévues n'ont jamais été créées de toutes pièces au sein de l'intelligence qui les a enfantées. Toujours, elles sont issues d'un premier germe dont ce génie avait reçu le dépôt ; le rôle de ce génie s'est borné à accroître et à développer la petite graine semée en lui jusqu'à ce que l'arbre aux frondaisons puissantes donnât ses fleurs et ses fruits.

Nous avons admiré, en étudiant la Statique de Léonard de Vinci (1), la végétation d'idées neuves la plus touffue, la plus luxuriante qu'il soit possible d'imaginer. Nous allons maintenant rechercher les semences qui ont donné naissance à cette forêt de découvertes. Ce que nous savons de la Statique du moyen âge nous aidera grandement dans cette recherche.

Il va nous être possible de démêler les influences qui se sont exercées sur l'intelligence du grand peintre ; nous verrons comment ses opinions se sont formées en Statique, tantôt en développant certaines propositions formulées par un géomètre appartenant à l'École de Jordanus, tantôt en réfutant les assertions émises par un mécanicien de la même École.

1. *L'École de Jordanus, le traité de Blaise de Parme et la Statique de Léonard de Vinci.*

Il n'est pas besoin de feuilleter longuement les manuscrits de Léonard de Vinci pour reconnaître que les pro-

(1) Voir Chapitre II.

blèmes où l'on tient compte non seulement des poids pendus au fléau d'une balance, mais du poids même du fléau, que les questions traitées par Charistion et par Thâbit ibn Kurrah, ont vivement sollicité son attention.

« Pour essayer un homme, dit-il (1), et voir s'il a un vrai jugement de la nature des poids, demande-lui en quel endroit on doit couper un des deux bras égaux de la balance, en sorte que la partie coupée, attachée à l'extrémité de son reste, fasse contre-poids avec précision au bras opposé (ce qui n'est jamais possible) et, s'il te donne la position, il est un triste mathématicien. »

Les considérations par lesquelles Léonard de Vinci

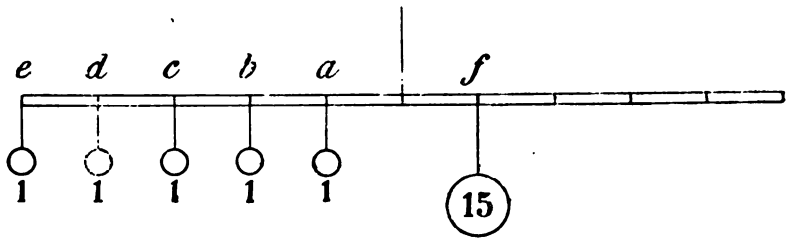

fig. 31.

traite ces sortes de problèmes sont, d'ailleurs, tout à fait analogues à celles qui sont données au livre publié par Thâbit ou plus sommairement exposées en la dernière proposition de Jordanus. Citons-en quelques exemples :

« *Du poids* (2). Si les deux bras de la balance (fig. 31) sont divisés en parties égales, et qu'une livre soit placée à chacun des points *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, je demande combien de livres leur feront résistance en *f* ?

» Tu feras ainsi : *a* fait résistance à une livre placée en *f*, *b* fait résistance à 2, *c* à 3, *d* à 4, *e* à 5, de sorte que toute la somme fait résistance aux 15 livres placées en *f*.

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. M de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 68, verso.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 5, recto.

» *Du poids*. Si une balance (fig. 32) a un poids qui soit semblable en longueur à un de ses bras, soit MN, qui soit de 6 livres, combien de livres placées en F lui feront résistance ? Je dis que 3 livres suffisent, parce que, si le poids MN a la même longueur qu'un des bras, tu pourras

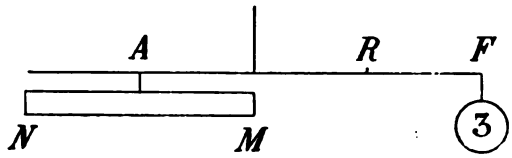

fig. 32.

estimer qu'il est placé au milieu de ce bras de balance, au point A ; donc, s'il y en a 6 livres, 6 autres livres placées en R leur feront résistance, et si tu tires une fois autant en avant, jusqu'à l'extrémité de la balance, au point R, 3 livres leur feront résistance.

» *Du centre de la gravité* (1). Le centre de la gravité

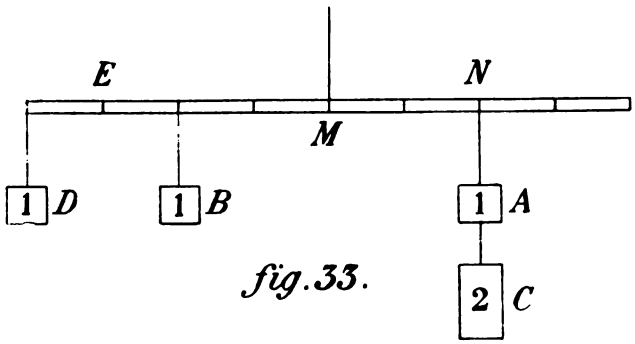

fig. 33.

suspendue est dans la ligne centrale de la corde qui le soutient. On le prouve par les poids B, D, suspendus en la première balance (fig. 33); ceux-ci, quand même ils seraient unis en un seul corps, auraient leur centre de

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 32, verso.

gravité au milieu inclus entre les deux lignes de suspension en E. Et il faut accorder ceci, parce que A, poids, résiste à B, poids, à bras égal de la balance, et que C, second poids, résiste au poids D ; or les espaces proportionnés aux poids sont MN et ME, qui sont en proportion sesquialtère, et de même sont les poids, en sens inverse, c'est-à-dire D, B, contre A, C, poids. Donc il est prouvé que E, centre, est centre de la gravité suspendue BD, désunie ou unie, et j'entends avoir prouvé la même chose de la seconde figure (fig. 34). »

Ces citations, dont on pourrait accroître le nombre (1),

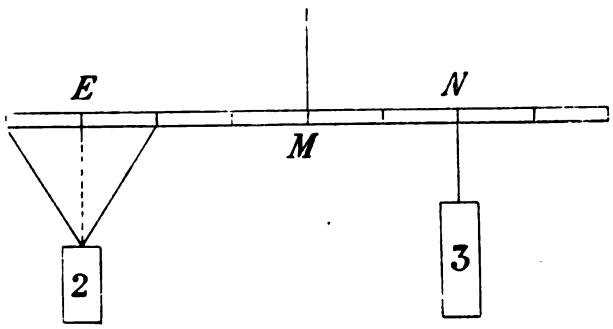

fig. 34.

nous montrent que Léonard possédait la science mécanique développée par ses prédécesseurs. Cette science, nous est-il possible de dire où il l'avait puisée, de citer les manuscrits qu'il avait feuilletés ? Parmi les anciens traités que nous avons analysés, il en est un dont nous pouvons affirmer que Léonard l'avait lu et critiqué : c'est le *Traité des poids* de Maître Blaise de Parme.

Dans sa fureur déprédatrice, Libri avait arraché un certain nombre de feuillets aux cahiers de Léonard de Vinci que conserve la Bibliothèque de l'Institut; vendus à

(1) Cf. notamment : *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. F de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 3, verso, et fol. 4, recto.

Lord Ashburnam, avec une partie de la collection que Libri avait enrichie en pillant les Bibliothèques commises à sa surveillance, ces feuillets sont rentrés en France en même temps que la collection dont ils faisaient partie ; ils sont conservés à la Bibliothèque Nationale. Parmi ces feuillets que la France a pu reconquérir, grâce à la diligence de M. Léopold Delisle, il en est deux, arrachés sans doute au cahier A, qui sont pour nous d'un prix inestimable ; les dessins et les courtes phrases qui les couvrent vont nous montrer comment les principes erronés de Blaise de Parme ont été transformés par le génie de Léonard de Vinci ; ils vont nous permettre de suivre l'éclosion, au sein de ce génie, de quelques-unes des idées maîtresses de la Statique.

Sur un de ces feuillets (1), nous reconnaissons une figure empruntée au traité de Biagio Pelacani ; cette figure est celle par laquelle il tente de justifier la règle du levier, celle que nous avons reproduite ci-dessus en notre figure 28. A côté de ce dessin, Léonard a tracé ces lignes :

« Pelacani dit que le plus grand bras de cette balance tombera plus vite que le petit, parce que sa descente décrit son quart de cercle plus droit que ne fait le petit et parce que, les poids désirant tomber par la ligne perpendiculaire, il se ralentira d'autant plus que le cercle se courbera plus. »

Léonard dessine alors un treuil (fig. 35) et ajoute :

« La figure *m n* jette à terre cette raison, parce que la descente de ses poids ne va pas par cercle et, pourtant, le poids du grand bras *m* s'abaisse. »

Léonard a sous les yeux le traité de Blaise de Parme et, d'emblée, il a reconnu la fausseté de certains principes, il va leur substituer des notions plus exactes.

Il ne peut tout d'abord se contenter de ce qu'a dit

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. 2038 (italien) de la Bibliothèque Nationale (Acq. 8070, Libri) fol. 2, verso.

Maître Blaise de Parme, après Jordanus, pour expliquer la diminution de poids qu'éprouve un faix, pendu à un bras

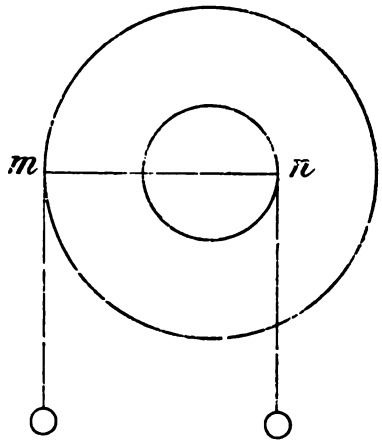

fig. 35.

de levier, lorsque ce bras s'écarte de l'horizontale pour se rapprocher de la verticale. Voici le dessin (fig. 36) qu'il trace et le commentaire (1) dont il l'accompagne :

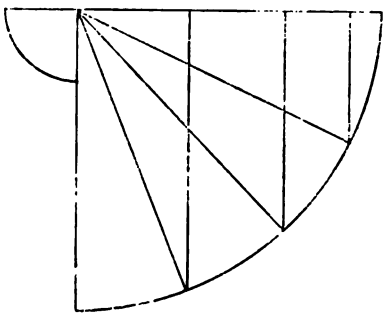

fig. 36.

« La chose qui est plus éloignée de son point d'appui est moins soutenue par lui ; étant moins soutenue, elle

(1) Léonard de Vinci, *loc. cit.*

garde plus de sa liberté et, parce que le poids libre descend toujours, nécessairement l'extrémité du fléau de la balance qui est plus distante de son point d'appui, parce qu'elle est plus pesante, descendra de soi plus vite qu'aucune partie. » Cette réflexion est confuse ; elle trahit les hésitations de la pensée de Léonard ; puis, tout à coup, la lumière se fait et le grand peintre trace ces lignes : « Parce que la roue (fig. 37) a ses extrémités également

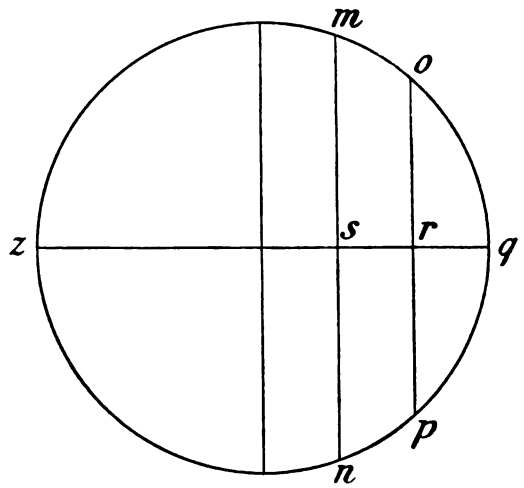

fig. 37.

distantes de son centre, tous les poids placés sur sa circonférence y auront une force telle qu'y auraient de semblables poids placés, sous leur ligne perpendiculaire, sur la ligne de l'égalité *qz*. »

Une des idées les plus importantes de toute la Mécanique, la notion de *moment*, vient de se découvrir à l'esprit de Léonard ; à l'instant précis où, pour la première fois, cette idée dont il devait tirer un parti si puissant, s'est présentée à son esprit, il avait sous les yeux, nous le savons par son témoignage, le traité de Blaise de Parme, et il en voulait réfuter les méthodes erronées.

Mais cet écrit est-il le seul qu'il lise ? La notion de moment, qu'il vient de formuler, ne l'a-t-il point empruntée au traité composé au moyen âge par cet auteur inconnu que nous avons nommé le Précurseur de Léonard ? Comment en douterions-nous après avoir pris connaissance des réflexions inscrites à la page suivante du manuscrit ?

Léonard cherche (1) la condition d'équilibre d'une balance coudée et de bras inégaux ; il hésite et tâtonne d'abord :

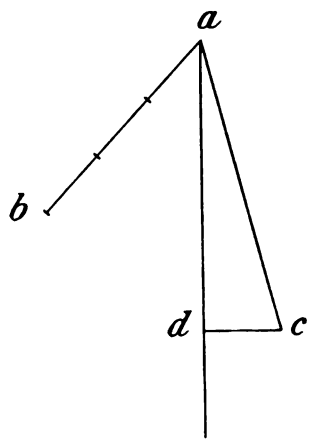

fig. 38.

« Celle-ci (fig. 38), de bras différents, a ses extrémités désireuses de toucher la perpendiculaire centrale, et si elle est de grosseur égale (2), l'une s'en approchera d'autant plus que l'autre qu'elle est plus longue que l'autre. Et si tu veux savoir combien *c* s'approchera de *d*, regarde combien *ab* entre en *ac*, et si elle y entre trois fois, partage *ab* en tiers, et la tierce partie de cette ligne sera l'espace qu'il y a entre *c* et *d*. »

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. 2038 (italien) de la Bibliothèque Nationale (Acq. 8070, Libri) fol. 3, recto.

(2) A ces mots, il faut substituer ceux-ci : *si ses extrémités portent des poids égaux*, sinon tout ce passage de Léonard serait faux.

Puis la règle exacte apparaît :

« Telle proportion aura la ligne *cb* (fig. 39) pour la ligne *ac*, telle proportion aura le poids et la longueur de *cn* pour le poids *cm* (1). »

Or le problème qui préoccupe ainsi Léonard, c'est celui-là même que son Précurseur traite immédiatement avant de définir la notion de moment. Nous n'en saurions douter : En même temps que le Traité de Blaise de Parme,

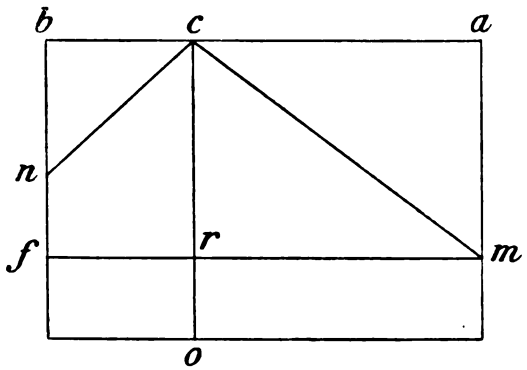

fig. 39.

Léonard avait sous les yeux l'écrit de son Précurseur lorsque l'idée du moment d'une force s'est manifestée à lui.

D'ailleurs, nous l'avons dit, le manuscrit du XIIIe siècle que Curtius Trojanus devait publier plus tard semble avoir constamment inspiré Léonard de Vinci ; le grand peintre lui a emprunté plusieurs des idées, relatives à la Dynamique et à la résistance des fluides, qui reviennent fréquemment en ses notes. L'influence de ce manuscrit se fait fréquemment sentir à côté de celle qu'exerce le traité de Blaise de Parme, redressant parfois l'opinion que ce dernier écrit inclinerait vers l'erreur.

(1) Cette pensée doit être lue ainsi : « Telle proportion aura la ligne *cb* pour la ligne *ac*, telle proportion aura le poids porté par la longueur *cm* pour le poids porté par la longueur *cn* ».

Léonard a, de suite, reconnu comme erroné ce que Jordanus et, après lui, Biagio Pelacani, avaient écrit touchant la stabilité de la balance ; un fléau rectiligne, de bras égaux, soutenu par son milieu et portant des poids égaux n'est pas en équilibre stable, mais en équilibre indifférent : « Ces poids A, B (fig. 40), écrit-il (1), feront stabilité en toute position. »

Ailleurs (2), il énonce plus formellement encore qu'un corps pesant suspendu par son centre de gravité demeurera en équilibre différent : « Si l'équilibre de la balance est fait en un pôle voisin du point mathématique qui se fait centre de gravité de la balance, alors les bras égaux de la

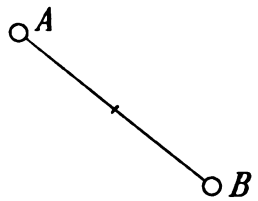

fig. 40.

balance resteront en l'obliquité que lui donne la main de l'homme. »

D'ailleurs, en formulant une telle conclusion, Léonard ne fait que restituer au centre de gravité la propriété que Pappus avait prise comme définition de ce poids ; en effet, ce géomètre, dont Léonard connaissait sans doute les travaux, ainsi que nous le verrons au § suivant, nommait (3) centre de gravité d'un corps un point tel que, si l'on concevait le corps suspendu par ce point, il demeurerait en

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 58, recto.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 78, verso.

(3) ΠΑΠΠΟΥ 'ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ Συναγωγή. PAPPI ALEXANDRINI *Collectiones* quae supersunt e libris manuscriptis edidit, latina interpretatione et commentariis instruxit Fridericus Hultsch. Volumen III, Berolini, MDCCCLXXVIII, pp. 1032 et 1033.

équilibre en quelque position qu'on l'amenât par une rotation convenable.

Cette conclusion est contraire à celle qu'ont formulée Blaise de Parme et Jordanus ; il faut donc que leur raisonnement soit faux par quelque endroit, et c'est ce que Léonard montre tout aussitôt par une discussion très profonde.

Jordanus a considéré chacun des deux poids égaux que porte un fléau incliné ; il a comparé ce qui arriverait en la descente de l'un avec ce qui arriverait en la descente

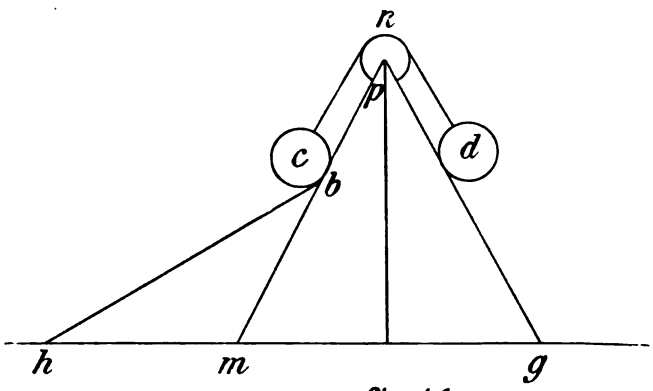

fig. 41.

de l'autre ; il a constaté que le poids placé plus haut descendrait suivant un arc plus voisin de la verticale que le trajet par lequel descendrait le poids inférieur ; il en a conclu que le premier l'emporterait sur le second. C'était mal raisonner. Il fallait remarquer que toute descente de l'un des poids fait remonter l'autre poids et comparer ces deux mouvements que la liaison des deux charges rend corrélatifs l'un de l'autre ; ces deux mouvements étant d'obliquités égales, il eût été clair qu'aucun des deux poids ne pouvait l'emporter sur l'autre.

Pour faire éclater aux yeux la justesse de cette manière

de voir et l'inexactitude du raisonnement de Jordanus, Léonard combine (1) un dispositif extrêmement ingénieux.

Sur une poulie *n* (fig. 41), passe un fil qui porte deux sphères identiques *c* et *d* ; ces sphères touchent deux plans inclinés de même obliquité *pm* et *pg* ; mais, en outre, l'une de ces sphères, la sphère *c*, touche un second plan incliné de plus grande obliquité *bh*. Appliquons à ce dispositif le raisonnement de Jordanus. La descente du poids *d* s'effectuerait par un chemin plus voisin de la verticale que la descente du poids *c* ; le premier de ces deux poids sera donc plus lourd que le second et il descendra, en obligeant le second à monter.

Visiblement, ce résultat est faux et, bien au contraire, les deux poids *c* et *d* se feront équilibre.

« Les poids *c*, *d* sont placés égaux entre eux s'ils sont situés dans les obliquités égales *pm*, *pg*, mais si le poids *c* se trouve sur l'obliquité plus grande *bh*, alors le poids *c* se fera d'autant moindre que l'obliquité *bh* qui le soutient se fera plus grande. Donc jamais le poids *b* ne montera par l'obliquité *bp* et le poids *d* ne descendra jamais par l'obliquité *pg*, parce que de telles obliquités sont égales et qu'égaux sont les poids qui se soutiennent sur ces obliquités. » Il est clair, d'ailleurs, que le poids *c* ne descendra pas davantage par l'obliquité *bh* en faisant monter le poids *d* par l'obliquité *gp*, car dans ces conditions, le poids *c* serait moins lourd que le poids *d*.

« *Conclusion*. Étant conclu dans la pénultième de ceci comment les poids égaux placés sur des obliquités égales restent égaux, et les choses égales entre elles ne se surpassent pas, nous avons encore conclu que la balance ne se mouvra pas avec des poids égaux *e*, *h*, par des obliquités égales *ab*, *cd* (fig. 42), obliquités qui sont prouvées être égales entre elles, parce qu'elles sont parallèles ; et

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 79, recto.

si tu disais que les arcs *ef*, *gh*, encore que leurs cordes soient parallèles, ne sont pas parallèles, il me suffit que de tels arcs soient semblables et égaux, et que les centres des poids qui se meuvent par de tels arcs soient toujours également distants du centre de la balance, et que toujours les centres des poids égaux soient également distants du susdit centre. »

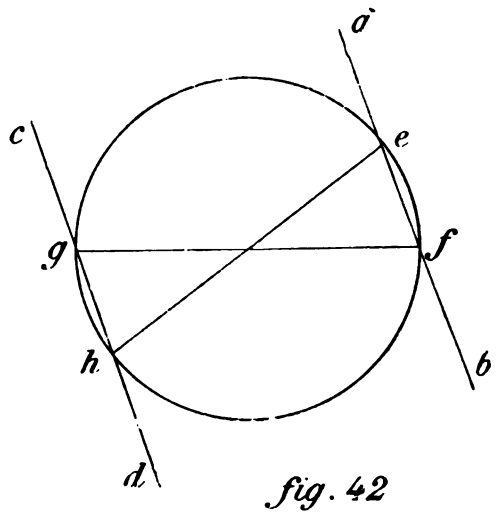

fig. 42

Ainsi à la méthode, imaginée par Jordanus, qui étudie la descente de chacun des poids en balance, Léonard a victorieusement opposé la méthode des *déplacements virtuels* qui donne aux divers poids des mouvements simultanés compatibles avec les liaisons de l'appareil ; cette méthode, Jordanus l'avait, d'ailleurs, appliquée au levier droit et le Précurseur de Léonard au levier coudé et au plan incliné ; nous avons vu, au Chapitre II, quels beaux résultats Léonard avait su en tirer.

Puisque les raisonnements de Jordanus ne valent point pour rendre compte de la stabilité de la balance, il en faut trouver une autre explication. Léonard se contente.

tout d'abord (1), de l'explication qu'avait donnée Aristote : Un fléau rigide et pesant est sûrement en équilibre stable lorsque l'axe de suspension se trouve au-dessus du centre de gravité du fléau.

Mais, en un autre endroit, il en trouve une explication plus complète, qui demeurerait valable lors même que le fléau serait sans poids. Le principe de cette explication est le suivant : Lorsque la balance est en équilibre, l'axe de rotation est au-dessus de la ligne qui joint les points où les poids sont suspendus. Lorsqu'on écarte la balance de la position d'équilibre, les poids demeurent égaux, mais leurs bras de levier ne le sont plus ; le poids le plus élevé, correspondant au plus grand bras de levier, l'emporte et ramène la balance à la position d'équilibre. C'est ce que Léonard exprime en ces termes (2) :

« *Pourquoi la balance de bras et de poids égaux s'arrête dans la position d'égalité.* Jamais l'angle fait par la jonction de la ligne centrale du bras de la balance avec la ligne centrale de son appendice n'est rectangulaire. La jonction du bras réel de la balance avec son appendice réel n'est jamais rectangulaire. Toujours les lignes des puissances pesantes sont en jonctions rectangulaires.

» La balance (3) de bras et de poids égaux, détournée de la position de l'égalité, fera des bras et des poids inégaux, d'où nécessité la contraint de regagner l'égalité perdue de bras et de poids : on le prouve... parce que le poids le plus haut est plus détourné du centre de la circonvolution que le poids le plus bas, et qu'ayant un plus faible support, par suite il descend plus facilement et élève la partie opposée du poids joint à l'extrémité du plus petit bras. »

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 79, verso.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 57, verso. Cf. fol. 58, recto.

(3 *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 59, recto.

Ces raisonnements, il serait injuste de ne le point remarquer, sont le développement des considérations sommaires et un peu confuses que le Précurseur de Léonard avait données en sa huitième proposition ; ils sont la réciproque, en quelque sorte, de ceux par lesquels cet auteur, et Blaise de Parme après lui, avaient étudié le cas d'équilibre instable de la balance.

2. *La composition des forces*

Léonard ne s'est point contenté de réfuter et de transformer ce que les principes de Jordanus et de Blaise de Parme renfermaient d'erroné ; ce qu'ils renfermaient de sain et de fécond, il s'en est emparé, mais en le prenant, il l'a développé et perfectionné. Telle la notion de gravité *secundum situm* ou, comme nous dirions aujourd'hui, de *composante du poids suivant sa trajectoire ;* cette notion, il la conçoit à son tour, mais il y joint cette pensée que ses prédécesseurs, sauf Aristote, n'avaient point signalée : La gravité *secundum situm* n'est qu'une des composantes du poids ; il lui faut associer une seconde composante, normale à la trajectoire.

Que, d'ailleurs, ces idées sur la décomposition du poids en deux forces rectangulaires lui soient suggérées par la lecture du Traité de Blaise de Parme, on n'en peut guère douter lorsque l'on compare ce traité au passage suivant (1) :

« *De la descente du grave.* Toute action naturelle est faite par la voie la plus courte ; c'est pourquoi la descente libre du grave est faite vers le centre du monde ; l'espace le plus court étant entre le mobile et la partie la plus basse de l'univers.

» *Le grave uniforme qui descend obliquement divise son*

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 75, recto.

poids en deux aspects différents. On le prouve : Soit *ab* (1) mobile selon l'obliquité *abc* ; je dis que le poids du grave *ab* partage sa gravité en deux aspects, c'est-à-dire selon la ligne *bc* et selon la ligne *nm* ; pourquoi et combien le poids est plus grand pour l'un que pour l'autre aspect, et quelle obliquité est celle qui partage les deux poids par égale partie, sera dit dans le livre *Des poids.* »

De cette proposition, visiblement issue des principes de Jordanus, Léonard fait fréquemment usage en étudiant le vol des oiseaux, étude qui, plus que toute autre, paraît avoir conduit son génie à méditer sur les principes de la Mécanique. Mais le grand architecte qui était en lui en entrevoit de suite une autre application, non moins importante, à la résistance des matériaux ; cette proposition se relie, en effet, à ce problème : Un grave étant soutenu par deux appuis qui forment un angle droit, comment la pression exercée par ce grave se partage-t-elle entre ces deux appuis ? Cette question (2) s'offre à l'esprit de Léonard immédiatement après qu'il a écrit le passage cité tout à l'heure :

« Le grave qui ne pèse pas vers le centre du monde pèse toujours en deux ou plusieurs lieux. On le prouve : Soit le grave *abcd* (fig. 43) qui ne pèse pas par la ligne centrale *be* ; donc, il pèse aux deux supports *ba* et *bd*.

» Tout grave pèse sous l'aspect où il est disposé à descendre. On le prouve avec la démonstration de *ba* qui pèse à *d*, et *bd* pèse à *a*, parce qu'en ces positions s'est préparée la disposition de leur descente.

» Conception. — Le grave qui pèse en deux endroits n'a pas son poids en un seul endroit (3). »

La question ainsi posée sollicite continuellement l'atten-

(1) Voir la fig. 9, au Chapitre II, où ce passage est déjà cité.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 76, verso.

(3) C'est-à-dire : n'exerce pas, en chacun des deux endroits, une pression égale à tout son poids.

tion de Léonard ; elle le conduit à imaginer diverses solutions du problème de la composition des forces ; nous avons vu, au Chapitre II, quelle est la solution, d'ailleurs erronée, à laquelle il semble s'être arrêté.

Mais si cette solution erronée paraît être celle qui a conquis l'acquiescement définitif de Léonard, ce n'est pas qu'elle se soit seule présentée à son esprit.

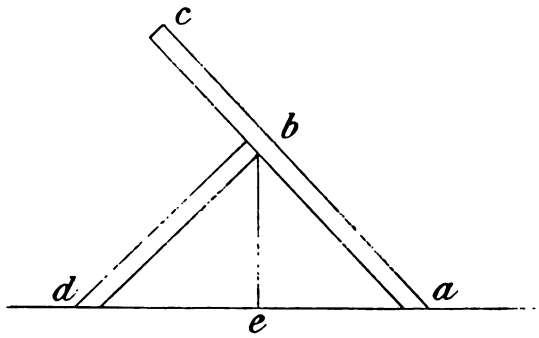

fig. 43.

Déjà, à la fin du Chapitre II, nous avons cité une curieuse solution, malheureusement à peine ébauchée, du problème du plan incliné et nous avons remarqué que cette solution paraissait impliquer des idées exactes sur la loi de la décomposition des forces ; certain membre de phrase, écrit par Léonard, y demeurerait incompréhensible si l'auteur n'admettait point l'exactitude de cette proposition : Le moment de la résultante de deux forces concourantes est égal à la somme des moments des composantes.

A cette remarque, nous avons joint cette réflexion : « Léonard était-il donc parvenu à la connaissance de cet important théorème ? Dans ceux de ses manuscrits qui ont été publiés, nous n'en avons révélé aucune trace autre que celle qui vient d'être relatée. »

Une revision des notes de Léonard, entreprise posté-

rieurement à l'impression de notre Chapitre II, a appelé notre attention sur quelques feuillets du manuscrit E de la Bibliothèque de l'Institut (1) ; l'inspection de ces feuillets confirme pleinement l'hypothèse que nous avions émise ; Léonard a connu et employé ce théorème :

Si l'on considère deux forces concourantes et leur résultante, le moment de la résultante par rapport à un point pris sur l'une des deux composantes est égal au moment de l'autre composante par rapport au même point.

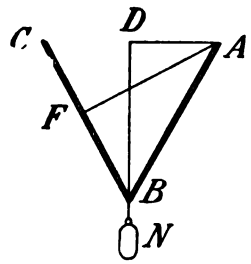

fig. 44.

Dans les raisonnements de Léonard, les deux composantes sont les tensions de deux cordes, tensions dont la résultante est égale et directement opposée à un poids que supportent les deux cordes.

A maintes reprises, le grand artiste applique le théorème que nous avons énoncé à un poids N suspendu au milieu B d'une corde dont les extrémités A, C, sont sur une même horizontale (fig. 44). Du point A, il abaisse une perpendiculaire AF sur la corde CB ou sur son prolongement, et une autre perpendiculaire AD sur la verticale du point B. Il déclare que la tension de la corde CB et le poids N maintiendraient en équilibre un corps rigide formé des deux bras de levier *potentiels* AF, AD, si ce

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut ; Paris, 1883.

corps était simplement susceptible de tourner autour du point A. Comme d'ailleurs Léonard, nous l'avons vu au Chapitre II, sait exprimer la condition d'équilibre d'un tel corps *circonvolubile*, qui est l'égalité des moments du poids et de la tension par rapport au point A, il obtient de suite le théorème que nous avons énoncé ci-dessus.

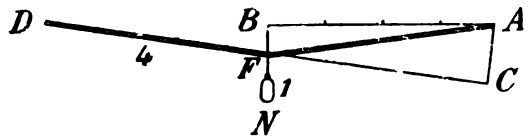

fig. 45.

Voici quelques passages (1) dont la netteté ne semble laisser place à aucun doute :

« Première : A est le pôle de la balance angulaire AD et AF ; et leurs appendices sont DN et FC.

» Seconde : Plus grossit l'angle de la corde qui, au milieu de sa longueur, soutient le poids N (fig. 45), d'autant plus diminue son levier potentiel et croît le contre-levier potentiel qui soutient le poids. » Et Léonard, ayant tracé la figure de telle sorte que AB soit le quadruple de AC, marque 1 le poids N et met sur la corde FD le chiffre 4, qui en indique la tension.

Il poursuit en ces termes, bien propres à nous marquer comment son génie a ramené l'étude de l'équilibre des forces concourantes à la loi d'équilibre du levier coudé, qui lui était déjà familière :

« Cette figure (fig. 46) représente la précédente ACB potentielle ; mais parce que la réelle pèse et la potentielle non, j'y ajoute le bras MN pour le contre-poids du bras O. »

Lorsque, plus tard, Roberval redonnera une démonstration du même théorème, il la tirera, lui aussi, de la con-

(1) Ms. E, fol. 65, recto.

dition d'équilibre d'un levier coudé ; mais l'artifice dont il usera sera beaucoup moins simple, beaucoup moins directement accessible que le dispositif imaginé, en ce passage, par Léonard de Vinci.

Revenant à la fig. 44, Léonard ajoute : « AFD sont les soutiens réels du poids N, et les lignes AC et AB sont le levier et le contre-levier potentiel du poids N, et les appendices demi-réels CD et BF sont ceux dont l'un est joint au levier potentiel et l'autre au contre-levier potentiel AB. »

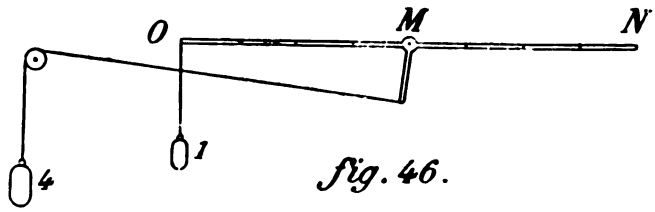

fig. 46.

» Jamais le contre-levier AB ne peut avoir de changement, par quelque changement que puisse avoir l'angle fait par la corde réelle AFD ; et jamais le levier AC ne peut avoir une longueur permanente par le changement du susdit angle AFD ; mais il se fera plus petit d'autant que l'angle AFD sera plus grand. »

Si les deux points A et D restent fixes, ainsi que le poids N, la tension de la corde DF sera inversement proportionnelle au levier potentiel AC : « Où le levier potentiel est en être (1), la force sera aussi en être. La force sera d'excellence d'autant plus grande que le levier potentiel sera de moindre quantité. »

La corde DFA ne peut jamais être rectiligne, car le levier potentiel AC étant nul, la tension de la corde DF serait infinie : « Jamais (2) la corde ou puissance quel-

(1) Ms. E, fol. 60, verso.
(2) Ms. E, fol. 60, verso.

conque, posée dans la situation d'égalité avec ses extrémités opposées, ne se pourra redresser, ayant quelque poids au milieu de sa longueur. » — « Jamais (1) le levier potentiel n'est consumé par aucune puissance. »

En aucun cas, la tension de chacune des cordes n'est, comme le supposerait le vulgaire, la moitié du poids supporté ; il faudrait, pour qu'il en fût ainsi, que les deux cordes fussent parallèles, ce qui ne peut être :

« Si le levier AD (fig. 47) était double (2) de son contre-levier AB, alors la corde DE sentirait la moitié

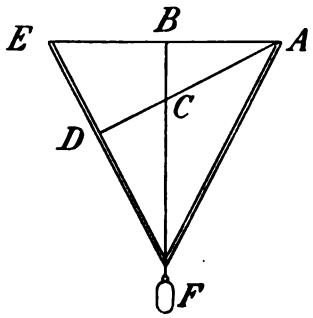

fig. 47.

du poids F, et cela ne peut pas arriver si le levier AD n'est pas dans la position d'égalité [la position horizontale], chose qui ne peut être si les appendices qui concourent à la suspension du poids F ne sont pas équidistants entre eux. »

Jusqu'ici, nous avons vu Léonard appliquer le théorème énoncé à un cas particulier ; la verticale, menée par le poids soutenu, était bissectrice de l'angle des deux cordes qui supportent ce poids. Mais il a également connu et employé cette proposition dans le cas général ; le passage que nous allons citer (3) en témoigne.

(1) Ms. E, fol. 60, recto.
(2) Ms. E, fol. 61, verso ; cf. fol. 63, recto.
(3) Ms. E, fol. 63, recto.

Léonard trace deux figures en chacune desquelles deux cordes, faisant un certain angle, soutiennent un poids dont la verticale n'est nullement bissectrice de cet angle.

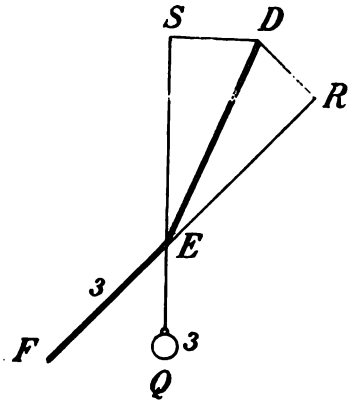

fig. 48.

En l'une de ces figures (fig. 48), le levier DR de la corde FE et le contre-levier SD du poids Q sont égaux entre eux ; aussi Léonard marque-t-il du même chiffre 3 le poids Q

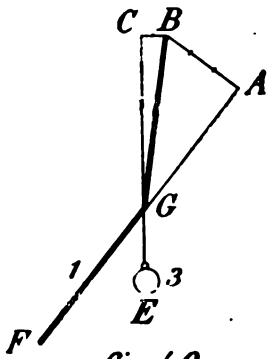

fig. 49.

et la tension de la corde FE. En l'autre figure (fig. 49), le levier AB de la corde FG est triple du contre-levier BC du poids E, et Léonard, évaluant encore à 3 le poids E,

marque 1 sur la corde FG, afin d'en indiquer la tension. Cette seconde figure est accompagnée de ce commentaire : « Il est d'autant plus facile de tendre la corde faite angulaire par le poids qui se soutient au milieu d'elle, que la situation de ses extrémités opposées est moins oblique ; donc la corde BGF a moins de fatigue à reprendre la droite extension que la corde précédente DEF, et ceci se manifeste par le levier et le contre-levier de l'une et de l'autre obliquité. En effet, le levier AB sur le pôle B est triple de son contre-levier BC. Donc l'appendice AF demi-réel, avec puissance d'un, peut contre 3 dans l'appendice

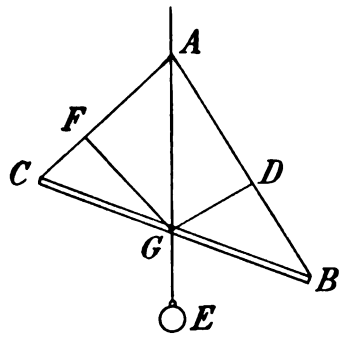

fig. 50.

opposé semi-réel CE ; et, dans la précédente, 3 de puissance sont contre 3 de résistance. »

Ces diverses citations montrent avec la dernière évidence que Léonard a eu une connaissance très exacte du théorème énoncé tout à l'heure ; or ce théorème entraîne toutes les règles de composition des forces concourantes.

On peut, en particulier, par une démonstration très simple, en tirer ce corollaire : *Par rapport à un point pris sur la direction de la résultante, les deux composantes ont des moments de signes contraires qui ont même valeur absolue.* Léonard a-t-il aperçu ce corollaire ? La réponse

affirmative à cette question paraît seule capable d'expliquer un fragment (1) qui contient une figure très explicite (fig. 50) et un commentaire malheureusement très obscur. Voici ce commentaire : « Si deux cordes d'obliquités différentes et contraires descendent d'un même endroit et se joignent aux extrémités opposées de la poutre située en une obliquité quelconque, toujours le centre de gravité de la poutre se trouve dans la ligne entre-centrique, en même temps que le centre des suprêmes hauteurs des cordes qui la suspendent. »

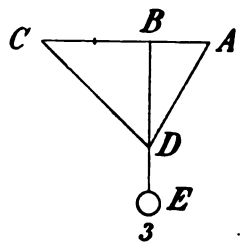

fig. 51.

La ligne *entre-centrique* dont parle Léonard est la verticale du point de suspension A ; quant aux *suprêmes hauteurs* dont il est ici question, et qui ne peuvent être que les lignes GF, GD, de la figure, pourquoi auraient-elles été tirées, sinon parce qu'elles sont les leviers potentiels des deux cordes AB, AC ?

Les divers fragments que nous venons de citer et de commenter énoncent les idées les plus exactes sur la composition des forces concourantes. Pourquoi faut-il que Léonard, abandonnant ces idées dans le moment même qu'il s'en rendait maître, se soit immédiatement rallié à une règle toute différente de la précédente et tout à fait erronée ? *En la page même* (2) où se trouve le fragment

(1) Ms. E, fol. 67, verso.
(2) Ms. E, fol. 67, verso.

que nous venons d'analyser, Léonard écrit : « Pour les deux cordes qui concourent avec différentes obliquités à la suspension d'un même grave, la proportion entre les poids soutenus par elles sont telles que sera celle de leurs obliquités. On le prouve : Soient les deux cordes d'obliquités différentes AD et CD (fig. 51) qui sont telles que l'une d'elles est double de l'autre, comme nous montrent les bras de la balance, BC étant double du bras BA, les obliquités d'appendices AD et CD descendant des extrémités de ces bras. Donc la corde CD sent la moitié du poids que sent la corde AD. » Le chiffre 3, marqué par

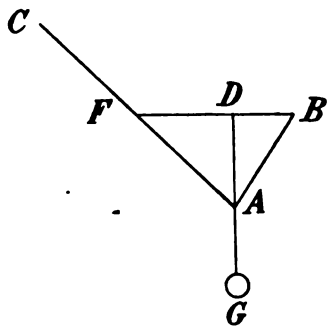

fig. 52.

Léonard au-dessous du poids E, indique qu'il le regarde comme égal à la somme des tensions des deux cordes, acceptant ainsi une opinion erronée qu'il vient de condamner quelques pages auparavant.

A la page précédente (1), nous lisons :

« Le grave suspendu dans l'angle de la corde divise le poids pour les cordes en telle proportion qu'est la proportion des angles inclus entre lesdites cordes et la ligne centrale du poids. On le prouve : Soit l'angle de ladite corde BAC (fig. 52), dans lequel est suspendu le grave G

(1) Ms. E, fol. 66, verso.

à la corde AG. Soit donc cet angle coupé dans la position de l'égalité [la direction horizontale] par la ligne FB, puis tire la perpendiculaire DA, à l'angle A, qui soit en droite continuation avec la corde AG, et la proportion qu'a l'espace DF avec l'espace DB, le poids que sent la corde BA l'aura avec le poids que sent la corde FA. »

Dans les feuillets suivants (1), Léonard use sans cesse de cette règle incorrecte que l'on retrouve en maints autres passages (2) de ses notes.

En l'intelligence de Léonard, les idées se précipitaient tumultueusement ; mais, parfois, il manquait au grand peintre la puissance de saisir et de fixer à jamais la vérité que ce torrent impétueux roulait pêle-mêle avec l'erreur. Aussi, bien souvent, la vérité qui lui était apparue un instant, émergeant à la surface des opinions incomplètes ou erronées, a-t-elle plongé de nouveau, attendant de l'avenir celui qui la ramènerait définitivement au rivage. Ainsi, de la notion de gravité *secundum situm*, conçue par Jordanus, le grand artiste de Vinci a su faire sortir l'idée de la résolution d'une force en ses composantes, et cette idée il a pu la contempler un moment dans la plénitude de son développement ; puis, elle s'est voilée de nouveau à ses regards, n'offrant plus à la vue du grand peintre qu'une loi erronée de la composition des forces.

L'étude du problème du plan incliné nous donnera de nouveau l'occasion de constater les hésitations et les fluctuations de la pensée de Léonard.

(1) Ms. E, fol. 68, recto et verso ; fol. 69, recto et verso ; fol. 70, recto ; fol. 71, recto.

(2) Voir, notamment, les passages cités au Chapitre II et Ms. M, fol. 36, verso.

3. *Le problème du plan incliné*

Le grand mécanicien inconnu que nous avons appelé le Précurseur de Léonard de Vinci avait, dès le XIIIe siècle, résolu le problème du plan incliné par une méthode si belle et si sûre qu'elle eût mérité de ravir d'emblée tous les suffrages. Mais il ne suffit pas qu'une vérité ait été découverte, il ne suffit pas qu'elle ait été justifiée par des raisonnements parfaitement justes et rigoureux, pour qu'elle prenne rang en cet ensemble de doctrines qui constituent la science universellement acceptée ; il faut encore que les esprits se soient accoutumés à la comprendre ; de même, il ne suffit pas qu'une lumière brille dans l'obscurité pour que nous voyions clair ; il faut encore que nos yeux se soient accoutumés à en supporter l'éclat.

Parfois, cette préparation des esprits à accueillir une vérité dont la preuve est parfaitement concluante, demande des années ou même des siècles ; et, plus tard, l'historien de la science demeure stupéfait que les hommes aient tardé si longtemps à percevoir cette clarté ; oublieux de l'accoutumance qui a fortifié sa vue, il s'étonne de cet éblouissement prolongé.

En aucun cas, peut-être, cet éblouissement capable d'aveugler les penseurs et de leur faire méconnaître une vérité trop éclatante ne s'est manifesté plus nettement qu'au sujet du problème du plan incliné.

La solution du problème du plan incliné est, nous l'avons vu, parfaite dès le XIIIe siècle. Or, au début du XVe siècle, Blaise de Parme a en mains le traité qui renferme cette solution. L'adopte-t-il ? En aucune façon ; il lui oppose une fausse évidence, une conception visiblement insoutenable de l'égalité de deux poids, et il la rejette comme un paradoxe.

La solution du problème du plan incliné ne paraît pas

davantage avoir été prise comme vérité acquise par les géomètres de la fin du xve siècle.

Regiomontanus, admirateur du traité *De numeris datis*, avait sans doute lu les *Elementa super demonstrationem ponderis ;* il est permis de penser que cette lecture avait attiré son attention sur le problème du plan incliné. Toujours est-il que dans une lettre adressée à Christian Roeder, professeur à Erfurt, le 4 juillet 1471, Regiomontanus pose (1) le problème suivant :

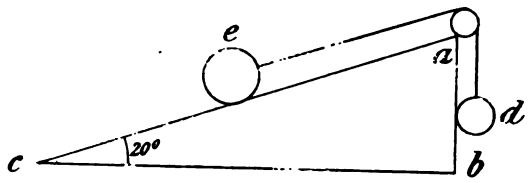

fig. 53.

« Deux poids (fig. 53) sont attachés l'un à l'autre et équivalents par situation *(secundum situm equipollentia)* ; s'ils étaient détachés de leur lien commun, l'un d'eux descendrait verticalement et l'autre obliquement. Le chemin oblique du second poids fait avec l'horizon un angle de vingt degrés, l'angle droit valant quatre-vingt-dix degrés. Je demande en quel rapport sont ces deux poids. Je nomme poids équivalents des poids qui s'empêchent l'un l'autre de descendre. Que l'on regarde donc *bc* comme une droite horizontale, *ab* comme une droite dirigée vers le centre du monde, que *ac* et *bc* forment un angle de vingt degrés, que le moindre poids *d* tende à descendre suivant *ab* et le plus grand poids *e* suivant *ac* si l'on supprimait le lien qui les unit. »

L'emploi des mots *secundum situm equipollentia* nous

(1) Ce passage a été signalé par Maximilian Curtze dans une note publiée par la BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3te Folge, Bd. II, 1901 ; p. 355.

permet d'augurer, avec une grande probabilité, que ce problème est suggéré par les principes de Jordanus.

Maximilien Curtze a fait observer que les problèmes posés par Regiomontanus dans ses lettres étaient, en général, des problèmes dont il possédait ou croyait posséder la solution ; il est donc à présumer que ce géomètre pensait avoir résolu le problème du plan incliné ; en tous cas, il est bien certain qu'il ne le regardait pas comme résolu par ses prédécesseurs ; peut-être, il est vrai, ne connaissait-il point le remarquable traité composé au XIIIe siècle par le Précurseur de Léonard de Vinci.

D'ailleurs, les géomètres durent hésiter à prendre pour vraie la détermination, donnée par cet auteur, de la pesanteur apparente d'un grave posé sur un plan incliné lorsqu'ils connurent la détermination toute différente qu'en avait donnée Pappus.

Pappus semble être le seul géomètre de l'antiquité qui se soit occupé du problème du plan incliné. Ce mathématicien vivait à Alexandrie, au IVe siècle de notre ère ; il y a composé ses *Collections* (1) ; bien que cette œuvre ne nous soit pas parvenue dans son intégrité, elle est cependant, pour l'histoire de la science hellène, d'une extrême importance.

Le VIIIe Livre de ces collections porte le titre suivant : « Περιέχει δὲ μηχανικὰ προβλήματα σύμμικτα ἀνθηρά ». Parmi les « problèmes mécaniques variés et délectables » qui sont ainsi annoncés, se trouve traité le problème du plan incliné (2).

Dès son point de départ, Pappus se trouve en absolue contradiction avec la Statique moderne ; il admet, en effet,

(1) ΠΑΠΠΟΥ 'ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ Συναγωγή, PAPPI ALEXANDRINI Collectiones quæ supersunt e libris manuscriptis edidit, latina interpretatione et commentariis instruxit Fridericus Hultsch. Volumen III. Berolini, MDCCCLXXVIII.

(2) *Loc. cit.*, p. 1029.

que pour mouvoir un certain poids α sur un plan horizontal, il faut le tirer parallèlement à ce plan par une certaine force γ; l'observation vulgaire lui donnait raison; seul, un plus haut degré d'abstraction et d'analyse devait mettre sur le compte du frottement la résistance qu'un poids éprouve à se mouvoir sur un plan horizontal; seul, il devait conduire les géomètres à ce principe, tout opposé à celui de Pappus: une force, si petite soit-elle, suffit à

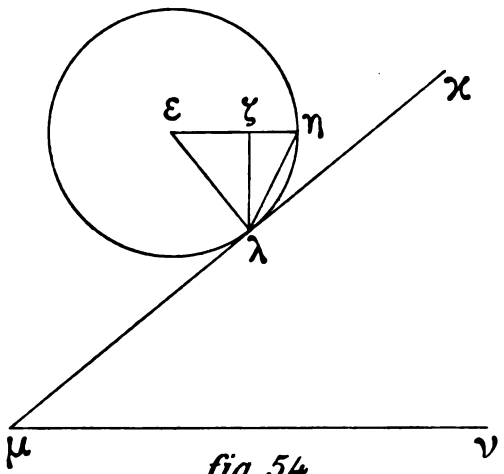

fig. 54.

mettre en mouvement n'importe quel poids sur un plan horizontal parfaitement poli.

Pour tirer le même poids α sur un certain plan incliné, il faut une force θ; c'est le rapport de la force θ à la force γ que Pappus cherche à déterminer, et voici par quel raisonnement il y pense parvenir :

Sur le plan incliné $\mu\kappa$ (fig. 54), se trouve une sphère pesante, de poids α, qui touche le plan en λ. Pappus se demande tout d'abord comment on pourrait maintenir cette sphère en équilibre. Il assimile ce problème de Statique à un problème sur la balance; la balance qu'il considère aurait son point d'appui en λ; elle porterait, pendu au centre ε de la sphère, le poids α de cette sphère,

tandis que le poids β, destiné à l'équilibrer, serait suspendu à l'extrémité η du rayon horizontal $\varepsilon\eta$. Pappus admet (et, par là, il semble avoir entrevu la loi d'équilibre du levier coudé) (1) que le poids β aura pour valeur $\frac{\varepsilon\zeta}{\eta\zeta}\alpha$. Le poids α étant tiré sur le plan horizontal par la force γ, il faudrait, pour tirer le poids β sur le même plan, une force $\delta = \frac{\varepsilon\zeta}{\eta\zeta}\gamma$. Pappus admet alors que la puissance θ, capable de hisser le poids α sur le plan incliné, sera la somme des forces γ et δ, en sorte que l'on aura $\frac{\theta}{\gamma} = \frac{\varepsilon\eta}{\eta\zeta}$.

Telle est la solution, bien éloignée de la vérité, dont certains géomètres, Guido Ubaldo par exemple, se contenteront encore à la fin du XVIe siècle; contre laquelle Galilée devra, à plusieurs reprises, déployer les ressources de sa dialectique.

Léonard de Vinci a certainement connu les deux

(1) Le principe de cette théorie est la notion du moment d'un poids suspendu à l'extrémité d'un bras de levier oblique; or, cette notion était sûrement connue par les géomètres de l'École d'Alexandrie à l'époque où Pappus écrivait; Héron (*a*) la formule nettement. La partie des *Mécaniques* de Héron où il est fait usage de cette notion ne se trouve pas dans l'extrait de cet ouvrage qui se trouve joint aux *Collections* de Pappus; elle est demeurée inconnue jusqu'à la publication de M. Carra de Vaux; elle n'a donc eu aucune influence sur Léonard de Vinci et n'a pas contribué au développement de la Mécanique moderne. De même, Héron remarque (*b*), à propos du treuil que cet « instrument et toutes les machines de grande force qui lui ressemblent sont lents, parce que plus est faible la puissance comparée aux poids très lourd qu'elle meut, plus est long le temps que demande le travail. Il y a un même rapport entre les puissances et les temps. » Il répète les mêmes observations à propos des moufles (*c*) et du levier (*d*). Mais ces passages, eux aussi, n'ont été connus que par la publication de M. Carra de Vaux. Ils n'ajoutaient rien, d'ailleurs, à ce qu'enseignaient à ce sujet les *Quæstiones mechanicæ*.

(*a*) *Les Mécaniques ou l'Élévateur* de Héron d'Alexandrie, publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ ibn Lûkâ et traduites en français par M. Carra de Vaux. Extrait du JOURNAL ASIATIQUE. Paris, 1894. Livre I, Art. 34, p. 91.

(*b*) *Loc. cit.*, p. 131.

(*c*) *Loc. cit.*, p. 134.

(*d*) *Loc. cit.*, p. 136.

solutions du problème du plan incliné qui avaient été proposées avant lui. L'une d'elles, en effet, se trouve dans le traité *De ponderibus* composé par ce géomètre du XIIIe siècle auquel il doit tant que nous l'avons nommé son Précurseur. L'autre, celle de Pappus, a visiblement inspiré quelques-uns des raisonnements par lesquels il s'est efforcé de résoudre ce problème.

Bien loin, en effet, que Léonard ait regardé la détermination de la pesanteur apparente d'un grave sur un plan incliné comme définitivement acquise à la science, il n'a cessé d'être préoccupé par cette détermination. Nous

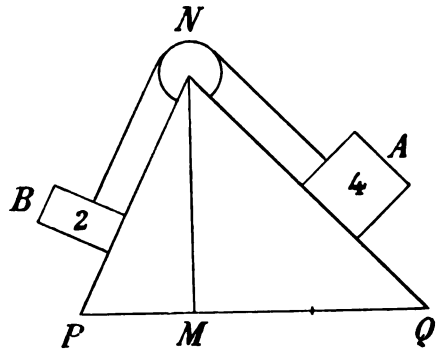

fig. 55.

avons dit, au Chapitre II, quelles réponses, tantôt exactes, tantôt erronées, il avait énoncées.

Il est des cas où nous saisissons l'immédiate influence exercée sur Léonard, en cette recherche, par le traité de son Précurseur. Voici, par exemple, un passage (1) où nous reconnaissons la proposition qui, dans ce traité, précède immédiatement la solution du problème du plan incliné :

« Si A, B, poids (fig. 55) ne poussent pas vers le centre

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 77, verso.

du monde, étant, comme ils sont, séparés, leur jonction tend à ce centre du monde, comme nous enseigne la ligne centrale MN qui passe par les proportions des poids 2 et 4 ; mais les positions des poids n'ont pas d'espaces proportionnés, parce que dans les mêmes obliquités un même poids peut rester haut et l'autre bas sans que de telles situations, différentes en hauteur, changent la proportion double des poids. »

Que cette invariabilité de la pesanteur apparente aux divers points d'un plan incliné soit, chez Léonard, un ressouvenir du traité de son Précurseur, on n'en saurait douter ; deux pages plus loin, se trouve le passage (1) où il critique d'une manière si sagace la démonstration qui a conduit Jordanus à une proposition erronée sur la stabilité de la balance et où il lui oppose la méthode des déplacements virtuels telle que son Précurseur l'a appliquée au problème du plan incliné. Il semble donc que tout presse Léonard d'accepter la solution proposée par le géomètre du XIIIe siècle. Il n'en fait rien, cependant. Il suffit de regarder la fig. 53 pour constater qu'il regarde les deux poids A et B comme respectivement proportionnels à PM et à QM, selon une règle erronée qu'il a souvent admise.

La solution du problème du plan incliné, proposée par le Précurseur de Léonard, reposait sur un postulat que, déjà, Jordanus avait implicitement introduit dans la démonstration de la règle du levier. Ce postulat peut se formuler ainsi : La puissance motrice employée à soulever un poids a pour mesure le produit du poids par la hauteur dont on l'a élevé ; lorsque ces deux éléments changent en raison inverse l'un de l'autre, la puissance motrice ne change pas. Or nul, mieux que Léonard, n'a compris la justesse et la portée de ce postulat ; nul ne l'a plus nettement formulé ; nul n'en a plus constamment poursuivi

(1) Ms. G, fol. 79, recto.

l'application aux diverses machines. Et cependant, Léonard ne paraît pas avoir compris à quel point ce principe était propre à déterminer la pesanteur apparente d'un grave placé sur un plan incliné ; jamais il n'en a fait usage pour obtenir cette détermination. Lorsque, visiblement guidé par la lecture de son Précurseur, le grand peintre aborde pour la première fois cette détermination, il en emprunte la valeur au grand mécanicien du XIIIe siècle, mais il délaisse sa démonstration pour un raisonnement qui semble imité de Pappus.

Nous trouvons les traces de ces premières tentatives dans le cahier A conservé à la Bibliothèque de l'Institut ; dans ce cahier dont le folio 5 porte, à son recto, des raisonnements tout semblables à ceux qui démontrent la dernière proposition du traité primitif de Jordanus ; dans ce cahier auquel appartenaient les feuillets, arrachés par Libri, où Léonard, méditant sur l'équilibre du levier, a consigné la critique des principes de Pelacano, où il a noté le premier éveil, en sa pensée, de la notion de moment, visiblement tirée du traité de son Précurseur. Ses méditations sur le plan incliné sont donc contemporaines de celles que nous venons de citer.

Pour déterminer la vitesse avec laquelle un corps descend un plan incliné ou la pesanteur apparente de ce corps posé sur ce plan (ce sont grandeurs proportionnelles pour qui admet la Dynamique péripatéticienne) il use, nous l'avons dit, d'un raisonnement où l'on trouve un reflet, sans doute bien affaibli mais, cependant, non méconnaissable de l'argumentation de Pappus.

Au Chapitre II, nous avons cité un texte, emprunté au Manuscrit A, où ce raisonnement se trouve exposé ; le même manuscrit nous en a gardé (1) une autre rédaction que voici :

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. A. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 21, verso.

« Du mouvement et du poids. *Tout corps pesant désire tomber au centre et l'opposition qui est la plus oblique lui fait le moins de résistance.* Si le poids se trouve en A (fig. 56), sa résistance vraie et directe serait AB, mais en

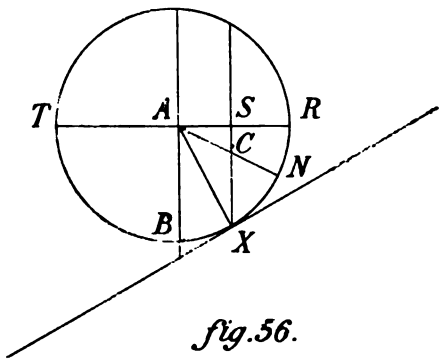

fig. 56.

quelque partie que la roue touche terre, là se trouve son pôle, et la partie qui reste la plus grande en dehors de ce pôle tombe ; SX étant le pôle, il est clair que ST pèsera plus que SR ; d'où il convient que la partie ST

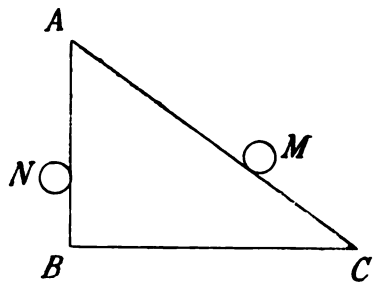

fig. 57.

tombe, qu'elle vainque et enlève SR, puis qu'elle se meuve sur la pente avec furie. Et si le pôle était en N, autant NC entre en BC, autant la roue courrait plus fort sur la pente que s'il était en X. »

Quelque étrange que soit ce raisonnement, il n'en a pas

moins — nous en avons fait la remarque au Chapitre II — conduit Léonard à une évaluation exacte de la pesanteur apparente d'un grave à la surface d'un plan incliné.

Cette évaluation, on la retrouve plusieurs fois dans ses notes, pourvu que l'on admette avec lui la proportionnalité entre cette pesanteur apparente et la vitesse de chute. On y lit, par exemple, des passages tels que celui-ci (1) :

« Le poids N tombera plus vite que le poids M (fig. 57) d'autant que la ligne AB entre dans la ligne AC. »

On y lit encore l'énoncé que voici (2) :

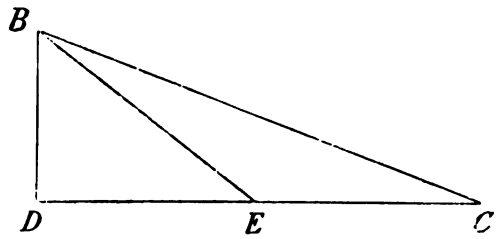

fig. 58.

« La chose descendra plus lente par la ligne BC (fig. 58) que par la ligne BD d'autant que la ligne BC est plus longue que la ligne BD, les choses étant d'égales pesanteurs et rondeurs... Mais encore elle descendra d'autant plus lente que la partie du contact est plus voisine du centre de la gravité qui se meut. »

Voici enfin une curieuse remarque (3) où est impliquée une exacte connaissance de la loi du plan incliné :

« Tel sera à la balance (fig. 59) le poids AB que lui est le poids CD. »

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 33, recto.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. M de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 42, recto.

(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. H de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 81 [33], verso.

Il ne faudrait point presser beaucoup cette remarque pour en faire sortir l'ingénieuse démonstration que donnera Simon Stevin.

Nous avons vu, au Chapitre II, comment Léonard de Vinci avait esquissé, de la règle du plan incliné, une démonstration qui impliquait une exacte connaissance de la loi de la composition des forces. Il ne semble pas toutefois que cette démonstration, non plus que l'argumentation imitée de Pappus, aient suffi à fixer son adhé-

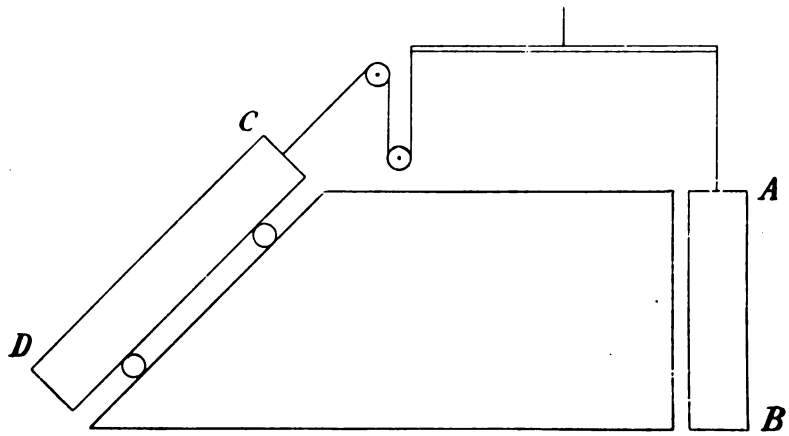

fig. 59.

sion. Le plus souvent il adopte, aussi bien au sujet du plan incliné qu'au sujet de la loi de la composition des forces, des règles erronées.

Il n'est, dans l'œuvre mécanique de Léonard de Vinci, aucune idée essentielle qui ne soit issue des écrits des géomètres du moyen âge et, particulièrement, du traité de ce grand mécanicien que nous avons nommé le Précurseur de Léonard. Notion de moment d'une force, distinction entre les états d'équilibre stable et les états d'équilibre instable d'une balance, détermination de la composante d'une force suivant une direction donnée, évaluation de la puissance motrice comme produit du

poids soulevé par la hauteur à laquelle on l'élève, théorie du plan incliné, toutes ces idées avaient été vues ou entrevues dès le XIIIe siècle. Il en est qui se réduisaient à un germe minuscule, à une simple ébauche et qui, dans les notes jetées sur le papier par Léonard, ont acquis un développement d'une merveilleuse ampleur. D'autres, au contraire, avaient, dès le moyen âge, atteint leur perfection, que le grand peintre a en partie méconnues ; telle la théorie du plan incliné.

Grâce aux réflexions de Léonard de Vinci, ajoutées aux œuvres de l'École de Jordanus, il n'est guère, en Statique, d'idée essentielle qui n'ait été clairement aperçue et formulée au moment où s'ouvre le XVIe siècle. Combien il s'en faut, cependant, que cette science soit, dès lors, définitivement constituée ! Les vérités qui, pour la composer, doivent se souder les unes aux autres en un corps de doctrine sont encore éparses et disséminées ; elles apparaissent mêlées à beaucoup d'erreurs ; la clarté des postulats exacts qui doivent justifier ces vérités n'est pas encore perçue par des yeux trop accoutumés aux fausses évidences.

Le XVIe siècle tout entier et le début du XVIIe siècle suffiront à peine à faire le tri entre les théorèmes vrais et les propositions erronées, à dissiper les malentendus nés d'un langage non encore fixé, à faire disparaître les fausses évidences, à montrer l'accord de vérités qui semblaient contradictoires, à retrouver, en un mot, ce qui était déjà inventé au XIIIe siècle.

CHAPITRE IX

L'ÉCOLE DE JORDANUS AU XVIe SIÈCLE NICOLO TARTAGLIA

1. *Nicolo Tartaglia ou Tartalea*

En 1546, un des plus grands géomètres du XVIe siècle, Nicolo Tartaglia ou Tartalea de Brescia, publie (1) sous ce titre : *Quesiti et Inventioni diverse* le plus important de ses écrits. Ce curieux ouvrage se compose de neuf livres : il est rédigé sous forme de dialogues, où Tartaglia s'entretient avec divers personnages de son temps. Nous y lisons de savantes dissertations, tenues à de grands seigneurs tels que François Marie, duc d'Urbin ; que Richard Ventuorth, gentilhomme de sa Majesté le roi d'Angleterre ; que Gabriel Tadino di Martinengo, chevalier de Rhodes, prieur de Barletta ; que Don Diego Hurtado di Mendozza, ambassadeur de l'Empire près la République de Venise. Nous y voyons Tartaglia s'entretenir avec des gens de toutes conditions, avec Frère Beretino, avec Maître Zuanne di Tonini da Coi, qui tient une école à Brescia, avec l'excellent docteur et philosophe Marc' Antonio Morosini, avec des mathématiciens comme Antonio Maria

(1) *Quesiti et Inventioni diverse di Nicolo Tartaglia*, Venetia, Vent. Ruffinelli, 1546. — Les éditions de cet ouvrage se succédèrent avec rapidité. On peut citer les suivantes : *Quesiti et Inventioni diverse. La nova Scientia*, Venetia, Nic. de Bascarini, 1550 ; — *Quesiti et Inventioni diverse, Ragionamenti sopra la travagliata Inventione, con supplemento*, Venetia, Nic. de Bascarini, 1551 ; — *Quesiti et Inventioni diverse, Regola generale de solevare con ragione e misura non solamente ogni affondata nave, ma una torre solida di metallo*, Venetia, Nic. de Bascarini, 1551 ; — *Quesiti et Inventioni diverse, con una giunta al sesto libro, nella quale si mostra duoi modi di redur una città inespugnabile*, Venetia, Nic. de Bascarini, 1554. — On peut mentionner, en outre : *Opere del famosissimo Nicolo Tartaglia, cioè Quesiti, Nova Scientia, Travagliata Inventione, Ragionamenti sopra Archimede*, etc., Venetia, 1606.

Fior et son Excellence Messire Hieronimo Cardano. Parfois, les interlocuteurs sont de plus minces personnages, un artilleur, un bombardier, un fusilier, dont les noms ne nous sont point conservés.

Ces entretiens roulent sur les diverses branches des mathématiques pures et, surtout, des mathématiques appliquées. Si l'algèbre et, particulièrement, la résolution de l'équation du troisième degré, occupent le neuvième livre, les autres livres sont consacrés à la Statique, à la Balistique externe, à la fabrication et aux propriétés des explosifs, à l'art de dresser les plans à la boussole, aux principes selon lesquels doivent être tracées les fortifications, à la Tactique. On guerroyait sans cesse, en ces temps, et le géomètre se doublait presque toujours d'un ingénieur militaire.

C'est à la fin du sixième livre des *Quesiti et Inventioni diverse* que Tartaglia, pour satisfaire la curiosité du Prieur de Barletta, nous conte le peu que nous savons de sa vie.

Tartaglia naît à Brescia, au commencement du XVIe siècle, à une date qui nous est inconnue. De son père, il connaît seulement le prénom, Michel, et le surnom, Micheletto Cavallero, que lui vaut sa taille exiguë et le nom, Cavalleri, de celui qui l'emploie. Pour gagne-pain, Micheletto a un cheval avec lequel il fait la poste et porte les lettres à Bergame, à Crémone, à Vérone ; mais il meurt jeune, laissant à sa veuve deux fils et une fille ; celle-ci est la plus jeune de ses enfants ; Nicolo, le fils cadet, qui sera le grand géomètre, n'a encore que six ans.

Déjà, la misère est grande dans la famille. Cependant voici venir la guerre avec toutes ses horreurs. Les Français s'emparent de la ville de Brescia et la mettent à sac. Pour éviter la mort, une foule d'habitants fuient leurs maisons trop peu sûres et demandent au Duomo un asile sacré. L'asile est violé ; des bandes furieuses et ivres de carnage envahissent l'église, massacrant sans quartier

hommes, femmes et enfants. Le sabre d'un soldat s'abat à trois reprises sur la tête de Nicolo et lui brise le crâne en trois endoits, si affreusement que le cerveau se trouve à découvert ; deux nouvelles estocades lui fendent le palais et les deux mâchoires.

Le malheureux enfant était tombé dans les bras de sa mère ; ses horribles blessures lui ôtaient l'usage de la parole et la possibilité de prendre des aliments ; à grand'peine pouvait-il avaler les liquides. La mère de Nicolo ignorait l'art de composer les onguents ; elle était trop pauvre pour payer le médecin ; « elle fut réduite à me soigner de sa propre main, non point avec des médicaments, mais en nettoyant avec tendresse l'affreuse blessure ; elle imita les chiens qui, lorsqu'ils sont blessés, se guérissent simplement en nettoyant leur plaie avec la langue ». Les soins maternels parvinrent à rétablir Nicolo ; mais de sa blessure, il garda toute sa vie un fort bégayement ; de là, le surnom de Tartaglia, *le Bègue*, qui tint lieu pour lui du nom patronymique inconnu.

Nicolo Tartaglia avait environ douze ans lors du sac de Brescia ; avant la mort de son père, c'est-à-dire à l'âge de cinq ou six ans, il avait été à l'école pour apprendre à lire ; mais, depuis ce temps, il n'avait plus reçu aucune instruction. A quinze ans, il voulut apprendre à écrire, et s'adressa à un certain Francesco. Maître Francesco consentit à lui enseigner l'art d'écrire, moyennant finances. Un premier terme devait être payé d'avance, un second lorsque Nicolo serait parvenu à la lettre *k*, un troisième à la fin de l'alphabet. Mais lorsque l'élève eut appris à tracer la lettre *k*, il se trouva si dépourvu d'argent qu'il dut quitter l'école sans savoir former les autres lettres. Tartaglia trouva moyen de se procurer un alphabet complet tracé par Maître Francesco et d'apprendre seul à former les dernières lettres.

Après les leçons de Maître Francesco, Tartaglia n'eut plus recours à aucun enseignement ; il vécut « sans autre

compagne qu'une fille de la Pauvreté, nommée Industrie ». Ainsi se développa l'un des plus grands géomètres du XVIe siècle et de tous les temps.

La date de la mort de Tartaglia ne nous est pas mieux connue que la date de sa naissance. En 1556, Tartaglia commençait, à Venise, la publication de son *General Trattato di numeri et misure* ; la troisième partie, parue en 1560, débute par une dédicace de l'imprimeur, datée du 1er janvier 1560 ; il y est parlé de Tartaglia en des termes qui le supposent déjà mort.

Le livre premier des *Quesiti et Inventioni diverse* est consacré à l'étude du mouvement des projectiles d'artillerie. L'analyse détaillée de cette œuvre, dont l'influence fut grande, au XVIe siècle, sur le développement de la Mécanique, s'imposerait à nous si nous nous proposions d'écrire ici l'histoire de la Dynamique. Nous aurions, en particulier, à y démêler les diverses traces de l'influence non douteuse que les pensées de Léonard de Vinci ont exercée sur le géomètre de Brescia. Mais la lecture de ce premier livre n'est pas sans intérêt pour l'histoire de la Statique, car on y voit, pour la première fois, Tartaglia faire usage des principes posés par Jordanus.

Léonard de Vinci avait écrit (1) : « Tout grave qui se meut selon la position de l'égalité ne pèse que par la ligne de son mouvement. On le prouve dans la première partie que fait le mouvement du boulet de la bombarde, mouvement qui est dans la position de l'égalité. » Cette pensée suivait immédiatement quelques passages tout imprégnés des principes de Jordanus, que Léonard connaissait par Maître Blaise de Parme et par le traité de son Précurseur.

Cette pensée, Tartaglia la développa en des entretiens qu'il eut en 1538, à Venise, avec le duc d'Urbin, et par

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. G de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 77, recto.

lesquels il inaugura ses *Quesiti et Inventioni diverse*. D'une pièce d'artillerie, pointée horizontalement, sort un boulet qui suit quelque temps la ligne horizontale ; tant qu'il tient cette trajectoire, sa pesanteur naturelle, dirigée suivant la verticale, est nulle ; puis, lorsque le projectile se met à décliner, elle commence à se faire sentir et croît d'autant plus que la trajectoire se rapproche davantage de la verticale.

A l'appui de cette théorie, issue des pensées de Léonard de Vinci, admise également par Cardan, que Galilée lui-même professera dans sa jeunesse, Tartaglia invoque ce principe (1) : « Il nous faut encore remarquer que l'on suppose un corps grave d'autant plus grave au lieu où il se trouve, que la descente en est moins oblique ou moins courbe, le corps étant en la même situation ou au même lieu. Et l'on suppose que la descente d'un corps grave est d'autant plus oblique que, dans sa descente, et pour une même quantité, ce corps prend moins du direct ; ou, en d'autres termes, qu'il prend une moindre quantité de la verticale ou d'une parallèle à la verticale, alors qu'il décrit une même quantité de la circonférence sur laquelle il tourne. »

De ce principe, Tartaglia tire aussitôt cette application : « Tout poids suspendu à un fléau de balance qui quitte la position d'égalité, devient plus léger, et d'autant plus léger que le fléau est plus éloigné de la position horizontale. »

L'appel aux principes de Jordanus est ici bien évident ; mais il n'est fait que d'une manière incidente. Nous allons voir Tartaglia donner de ces principes un exposé dogmatique.

Le septième livre des *Quesiti et Inventioni diverse* porte ce sous-titre : *Sur les principes des questions mécaniques d'Aristote*. Les entretiens que Tartaglia échange avec

(1) Tartaglia, *Quesiti et Inventioni diverse*, édition de 1554, p. 8, verso.

l'ambassadeur Don Diego Hurtado di Mendozza ont surtout pour but de prouver que la théorie péripatéticienne de la balance est insuffisante, car elle a été construite sans qu'il soit fait appel aux véritables principes de la Science des poids.

Ainsi, Aristote a raison d'affirmer qu'une même vertu ou puissance, appliquée à l'extrémité d'un bras de levier, le meut d'autant plus vite que ce bras est plus long ; mais de ce principe vrai, il fait une application fausse lorsqu'il en prétend tirer que les grandes balances sont plus sensibles que les petites. Son erreur provient de ce qu'il ne distingue pas assez nettement entre les propriétés des balances mathématiques, abstraites, formées de lignes sans épaisseur ni poids, et les propriétés des balances physiques, composées de pièces matérielles et pesantes. Aussi, contrairement aux raisonnements du Philosophe, sont-ce les balances les plus petites qui sont les plus sensibles.

Tartaglia expose à l'ambassadeur le raisonnement par lequel Aristote explique la stabilité d'une balance dont le point de suspension se trouve au-dessus du fléau ; son désir de critiquer le Stagirite ne l'empêche point de lui emprunter l'énoncé et la démonstration de cette proposition erronée : Lorsque le point de suspension est au-dessous du fléau, l'équilibre de la balance est indifférent ; mais à cette proposition erronée, il en joint une autre, qu'il reproche à Aristote d'avoir omise et qu'il énonce, non sans quelque vanité, comme une « belle question, bien plus cachée à notre intellect que chacune des deux autres » ; il s'agit de cette affirmation : Si le centre de gravité se trouve précisément sur le fléau de la balance, l'équilibre de la balance est stable. « Je dis à votre Seigneurie, ajoute Tartaglia, qu'avant de vouloir démontrer la cause d'un tel effet, il m'est nécessaire de définir et de démontrer quelques termes et principes de la Science des poids. »

C'est donc sur la *Science des poids* que rouleront, entre

Tartaglia et Don Diego Hurtado di Mendozza, les entretiens résumés au Livre huitième.

Il nous suffit d'entendre l'ambassadeur déclarer, dès les premières paroles, que la Science des poids est non pas une science indépendante, mais une doctrine *subalternata*, et demander à Tartaglia de quelles disciplines elle dérive ; d'entendre Tartaglia répondre aussitôt qu'elle dérive, en partie, de la Géométrie et, en partie, de la Philosophie naturelle, pour que notre pensée se reporte aussitôt vers le préambule du *Commentaire péripatéticien* au Traité de Jordanus ; vers ce préambule que, peu d'années auparavant, Peter Apian a livré à l'impression. De suite, il est clair pour nous que la *Science des poids* exposée par Tartaglia à l'ambassadeur de l'Empire se rattache à l'École de Jordanus.

Tartaglia, d'ailleurs, ne suit pas aveuglément un seul auteur de cette École ; il fait un choix entre des traités divers. Nous lui avons vu, par exemple, emprunter son entrée en matière au Commentateur péripatéticien dont Peter Apian a imprimé l'écrit ; mais à ce traité obscur, il ne fait pas d'autre emprunt. Parmi les postulats énoncés, nous remarquons celui-ci (1), qui ne trouve, au huitième livre des *Quesiti*, aucune application : « Aucun corps n'est grave en lui-même. Ainsi l'eau au sein de l'eau, le vin dans le vin, l'huile dans l'huile, l'air dans l'air, n'ont aucune gravité ». Nous reconnaissons aussitôt une proposition empruntée au *traité des poids* — faussement attribué à Archimède — et reproduite dans l'écrit de Blaise de Parme. Mais deux sources ont, presque exclusivement, fourni les matières traitées au huitième livre des *Quesiti* ; ces deux sources sont le fragment *De ponderoso et levi* attribué à Euclide et le premier livre du traité composé par le Précurseur de Léonard de Vinci.

Les modifications apportées par Tartaglia à la rédaction

(1) *Quesiti et Inventioni diverse*, Libro ottavo, Quesiti XXVII, Petitione VI.

de ces divers écrits sont de minime importance ; elles consistent surtout en phrases laudatives prodiguées par l'ambassadeur : « Voilà une assez belle proposition ; voilà un problème qui me plaît ; je comprends très bien, vous pouvez continuer. »

Le premier livre du traité composé par le Précurseur de Léonard de Vinci n'est pas en entier reproduit par Tartaglia. Il passe notamment sous silence la belle proposition relative au levier coudé. Mais il expose (1), avec grand détail et grand soin, la théorie du plan incliné donnée au même ouvrage.

En entendant cet exposé, Don Diego Hurtado di Mendozza peut, à juste titre, s'écrier : « Voilà une belle spéculation, et qui me plaît assez ». Il est impossible, en effet, de souhaiter solution plus claire et plus simple du problème du plan incliné. Mais, sans vergogne, Tartaglia prend pour lui les éloges qu'il se fait décerner ; il se garde bien de faire mention de l'écrit qui a fourni ce beau théorème.

Pas une fois, d'ailleurs, Tartaglia n'a nommé Jordanus, à l'École duquel il s'est rangé. Cette criante injustice ne pouvait longtemps demeurer inaperçue.

Un différend mettait aux prises Cardan et Tartaglia au sujet des méthodes propres à résoudre l'équation du troisième degré et de la priorité d'invention de ces méthodes ; cette querelle provoqua un ardent duel mathématique entre Tartaglia et le tenant de Cardan, Luigi Ferrari, qui était élève du médecin milanais, et déclarait « che sono creato suo ». Le combat s'engagea le 10 février 1547 par un cartel (2) de Ferrari à Tartaglia, que suivirent

(1) *Quesiti et Inventioni diverse*, Libro ottavo, Quesiti XLI, XLII ; Propositioni XIV, XV.

(2) *I sei cartelli di matematica disfida primamenti intorno alla generale risoluzione delle equazioni cubiche di* Ludovico Ferrari, *Coi sei contro-cartelli in riposta di* Nicolo Tartaglia *comprendenti le soluzioni de' quesiti dall' una et dall' altra parte propositi.*

Raccolti, autografati e publicati da Enrico Giordani, Bolognese. Premesse

cinq autres cartels envoyés le 1 avril, le 1 juin, le 10 août 1547, au cours d'octobre 1547, et le 14 juillet 1548. A chacun de cartels, Tartaglia riposta par un contre-cartel ; les dates de ces contre-cartels sont les suivantes : 19 février, 21 avril, 9 juillet, 30 août 1547, 16 juin et 24 juillet 1548.

Dès son premier cartel, Ferrari attaque avec une extrême violence la bonne foi scientifique de Tartaglia : « Outre mille erreurs commises dans les premiers livres de votre ouvrage, lui dit-il (1), vous avez encore exposé, au huitième livre, les propositions de Giordano comme si elles étaient vôtres et sans faire aucune mention de l'auteur ; c'est un vol criant. Vous donnez des démonstrations de votre tête qui, la plupart du temps, ne concluent pas, et, pour votre grand'honte, vous faites confesser à l'Illustrissime Seigneur Don Diego di Mendozza des choses qu'il ne dirait pas pour tout l'or du monde ; j'en suis assuré, car je connais en partie l'étendue de sa science ; cela

notizie bibliografiche ed illustrazioni sui Cartelli medesimi, estratte da documenti già a stampa ed altri manoscritti favoriti dal Comm. Prof. Silvestro Gherardi. Milano, 1876.

Ces six cartels de Ferrari et les six ripostes de Tartaglia étaient demeurés entièrement inconnus des mathématiciens, lorsque M. Silvestro Gherardi fut assez heureux pour en reconstituer la collection complète. Les six cartels de Ferrari trouvés par lui portaient, de la main de l'auteur, l'adresse : *Al Signor Nicolo Simo* ; Nicolo Simo était, en effet, un des géomètres auxquels les deux adversaires adressaient leurs écrits. Cette collection est absolument unique. Seul, le second cartel de Ferrari se trouve à la Bibliothèque de St-Marc, à Venise. Gherardi publia ces douze pièces, en 1846, à Bologne, à la suite du livre qu'il a donné sous le titre : *Di alcuni materiali per la storia della facolta matematica in Bologna* ; il les céda ensuite à Libri. Elles furent vendues à Londres, en 1861, avec la bibliothèque de Libri. En 1876, par les soins de M. Enrico Giordani, cette collection fut reproduite en fac-similé et dédiée au Prince Baldassare Boncompagni (Voir : *Catalogue of mathematical, historical, bibliographical, and miscellaneous portion of the celebrated library of M. Guglielmo Libri* ; Part I : A-L, London 1861, n° 178, pp. 19 et 20 : à la p. 1 se trouve un fac-similé d'un autographe de Ferrari — J. Ch. Brunet, *Manuel du libraire et de l'amateur de livres*, t. V, 1864, colonne 661 — et la notice qui précède la réimpression de 1876).

(1) Ferrari. *Primo cartello*, p. 2.

manifeste votre présomption en même temps que votre ignorance. »

A ce coup droit, Tartaglia ne riposta pas dans son premier contre-cartel ; alors Ferrari redoubla : « Sont-ils sortis de ta mémoire, s'écrie-t-il en son second cartel (1), ces vols et ces erreurs qu'excédé de ton injustice, je t'ai rappelés en ma provocation ? Je t'ai dit que tu avais dérobé les propositions de Jordanus, que tu te les étais attribuées sans aucunement mentionner l'auteur, que tu avais eu le ridicule de donner pour concluants tes arguments futiles, et que, pour ta honte mémorable, tu avais mis en scène et pris pour interlocuteur un homme très digne, l'ambassadeur de l'Empire, auquel tu fais déclarer tes démonstrations vraies et très efficaces ; par une étrange inertie et pour l'étonnement de l'intelligence, il t'arrive souvent de supposer ce qui est en question ; enfin tu reprends faussement et injustement le divin Aristote. »

Cette fois, Nicolo Tartaglia riposta (2).

De l'aveu de Ferrari, les démonstrations par lesquelles il a prouvé les propositions de Giordano sont siennes. « Or la démonstration, vous devez le savoir, est chose de bien plus d'importance, elle demande bien plus de savoir, elle est plus scientifique et de plus grande difficulté que la pure proposition. Toute proposition mathématique, isolée de la démonstration, est réputée de nulle valeur auprès des mathématiciens ; proposer est chose facile ; tout ignorant saurait formuler une proposition, mais non point la démontrer...

» ... Il m'est donc licite de regarder comme mien mon huitième livre des poids, et cela pour trois solides raisons.

» En premier lieu, l'ordre que j'ai suivi est tout diffé-

(1) Ferrari, *Secondo cartello*, p. 6.
(2) *Seconda riposta data da* Nicolo Tartalea Brisciano, pp. 7 et 8.

rent ; il est plus simple, plus intelligible et plus abrégé que l'ordre suivi par Giordano.

» En second lieu, j'ai notablement amplifié les définitions, les pétitions et les propositions et, si la mort n'interrompt point mes desseins, je pense les développer bien plus encore à l'avenir.

» En troisième lieu, comme vous le confessez vous-même, les démonstrations sont miennes ; elles ne sont pas de Giordano. Vous prétendez que le peu que j'ai pris à Giordano me fait un devoir de citer cet auteur. Je vous réponds que si je l'avais cité, il m'aurait été nécessaire de signaler la grande obscurité de ses propositions comme de ses démonstrations, obscurité que tout homme intelligent peut constater ; et il me semblait que ce n'était point chose à faire. »

La riposte que Tartaglia adresse à Ferrari n'est point faite pour nous donner une haute idée de sa bonne foi ; elle pouvait duper celui qui jugeait Jordanus au travers des démonstrations nébuleuses de son Commentateur péripatéticien, publiées par Peter Apian ; elle semble misérable à qui connaît les textes primitifs, si clairs et si précis, dont les raisonnements de Tartaglia sont, presque toujours, une simple paraphrase ; des démonstrations que Tartaglia revendique avec tant d'âpreté, le *Liber de ponderoso et levi*, attribué à Euclide, le traité composé par le Précurseur de Léonard de Vinci ont fait tous les frais.

A son prédécesseur anonyme, Tartaglia accorda une tardive réparation.

Dans sa réponse à Ferrari, il avait déclaré qu'il se proposait, à moins que la mort ne vînt interrompre ses desseins, de donner aux démonstrations de Jordanus de nouveaux développements. Ces projets ne furent point mis à exécution ; mais Tartaglia légua à son ami Curtius Trojanus, célèbre éditeur de Venise, un manuscrit auquel il avait ajouté quelques figures. Ce manuscrit est le traité dont nous avons longuement parlé comme ouvrage du

Précurseur de Léonard de Vinci. Selon le désir exprimé par le grand géomètre, Curtius Trojanus publia (1) ce traité ; il y joignit le traité des pesanteurs spécifiques attribué à Archimède ; il y joignit aussi des déterminations des poids spécifiques obtenues par Tartaglia lui même.

Cette édition, survenant après celle de Peter Apian, fit connaître aux géomètres du XVIIe siècle non pas l'ouvrage primitif de Jordanus — il est encore inédit — mais les divers commentaires composés sur cet ouvrage. Nous verrons ces commentaires donner lieu à de grands débats.

2. *Jérôme Cardan — Alexandre Piccolomini*

Il est impossible de parler de l'École de Jordanus au XVIe siècle sans faire mention de Jérôme Cardan. Sans doute, Cardan est, avant tout, disciple de Léonard de Vinci ; les idées qu'il commente et développe en Mécanique, ce sont celles que nous lisons dans les notes du grand peintre, notes dont, assurément, il a eu connaissance. Mais ce qu'il ajoute parfois aux découvertes de Léonard, il l'emprunte aux écrits de Jordanus et de son École.

Nous l'avons vu, au Chapitre III, mener grand bruit autour de la théorie de la balance romaine, reprochant à Archimède d'avoir délaissé ce problème pour s'adonner à d'autres recherches moins utiles ; mais il s'est bien gardé d'ajouter que son invention n'avait aucune part à la solution qu'il donnait de ce problème, car il l'avait trouvée exposée en détail dans tous les traités de l'École de Jordanus qui, eux-mêmes, la tenaient, par le *De canonio*, des géomètres de l'École d'Alexandrie.

Il nous est possible, d'ailleurs, de citer l'un au moins

(1) Jordani *Opusculum de ponderositate*, Nicolai Tartaleæ studio correctum, novisque figuris auctum. Cum privilegio. Venetiis, apud Curtium Trojanum, MDLXV.

des écrits de l'École de Jordanus où il avait puisé ses renseignements. Dans un de ses plus anciens ouvrages (1), après avoir donné la théorie de la balance romaine, il ajoute : « De là se conclut la vérité de cette proposition de Pellacanus (2) : Une mouche pourrait faire équilibre à la Terre entière si on la plaçait à l'extrémité d'un bras de levier très long. Mais de telles imaginations fabuleuses ne sont point utiles ; elles rendent plutôt la science ridicule. » Il énumère ensuite divers problèmes que l'on peut examiner touchant la romaine ; ce sont précisément ceux qui composent le *De canonio*, ceux que résout Blaise de Parme dont, comme Léonard, il avait étudié le *Tractatus de Ponderibus*.

Nous avons vu également Cardan examiner pour quelle raison un fardeau pendu à un bras de balance devenait moins pesant au fur et à mesure que le bras qui le porte se rapproche de la verticale ; nous l'avons entendu émettre à cet égard des considérations fort intéressantes touchant le principe des vitesses virtuelles ; mais ces considérations étaient tout imprégnées des propositions établies par Jordanus au sujet de la variation de gravité *secundum situm* d'un poids mobile sur un cercle.

Cardan cite toutefois Jordanus, mais c'est afin de lui reprocher la proposition inexacte touchant la stabilité de la balance. Il rectifie d'ailleurs, dans le même passage, comme le Précurseur de Léonard et Léonard lui-même

(1) Hieronymi Cardani *De numerorum proprietatibus liber unicus* ; Caput LXVI, de Ponderibus. Selon Niceron (*a*), cet ouvrage fut imprimé pour la première fois, après la mort de l'auteur, dans : Hieronymi Cardani *Opera omnia*, tomus IV.

(2) Dans le manuscrit (*b*) que nous avons étudié, Blaise de Parme dit seulement qu'un grain de millet peut faire équilibre à un poids mille fois plus considérable. Cardan avait sans doute, du même traité, une rédaction un peu différente.

(*a*) Niceron, *Mémoires pour servir à l'histoire des hommes illustres*, t. XIV, p. 271 ; Paris, 1731.

(*b*) Bibliothèque Nationale, fonds latin, Ms. 10 252.

l'avaient fait avant lui, l'erreur d'Aristote qui avait déclaré indifférent un certain état d'équilibre instable.

« Et de ceci, dit Cardan (1), est monstré ce que dit le Filosofe : Que si les poids sont égaus en F et R (fig. 60), la balance toutefois de son gré retourne à la droite situation, la languette étant en AB. Et Jordanus ne démonstre ceci et ne l'a entendu. Semblablement, pourquoi la languette posée à QB et plus bas que la livre, comme il avient quand la livre est renversée, que tu tiennes de ta

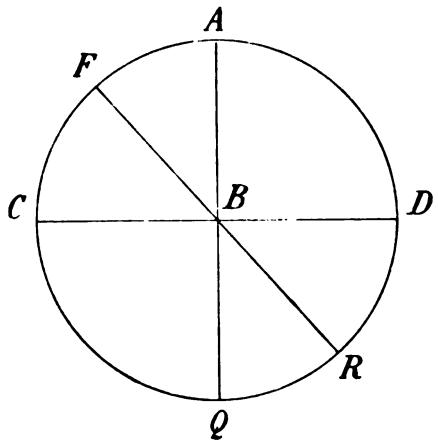

fig. 60

main la languette, la livre dessus, le poids qui ja aurait descendu tiré vers R, un autre pois égal étant constitué en F, ou que les balences soient totalement vides, non seulement elles ne retournent point vers la situation CD, comme en lieu droit, mais plus tost R descend vers Q, et F monte vers A, comme il est manifeste par expérience. Pareillement, Jordanus ne démonstre ceci. »

Les raisonnements, assez confus d'ailleurs, que Cardan

(1) *Les Livres de* Hierome Cardanus, médecin milannois, *intitulés de la Subtilité et subtiles Inventions, ensemble les causes occultes et raisons d'icelles*, traduis de Latin en François par Richard de Blanc. Paris, Charles l'Angelier, 1556.

développe au sujet de ces questions de stabilité sont essentiellement ceux que nous trouvons dans les notes de Léonard de Vinci.

L'erreur commise par Aristote était, nous l'avons vu au Chapitre VII, un simple lapsus ; tout lecteur attentif la devait rectifier ; mais corriger, si peu que ce soit, le Philosophe n'était jamais réputé œuvre de mince importance.

A l'époque qui nous occupe en ce moment, c'est-à-dire au milieu du XVIe siècle, les *Quæstiones mechanicæ* d'Aristote, qui n'avaient presque été l'objet d'aucun commentaire suivi, furent exposées avec beaucoup de précision et de soin par le savant Alexandre Piccolomini (1). Piccolomini, lui aussi, remarqua l'inadvertance d'Aristote ; mais il n'osa reprendre le Stagirite qu'avec des précautions infinies (2) : « Le texte des paroles d'Aristote est très défectueux en ce qui concerne cette question ; pour établir le véritable sens qu'il convient d'attribuer à ce texte, nous avons dû faire un grand effort ; nous nous sommes servis d'un instrument matériel pour reconnaître par les sens ce que la démonstration avait découvert à notre intelligence ; une telle vérification expérimentale est de grande importance selon la doctrine péripapéticienne ».

(1) Alexandri Piccolominei *in mechanicas quæstiones Aristotelis paraphrasis paulo quidem plenior*, ad Nicolaum Ardinghellum Cardinalem amplissimum (A la dernière page : Excussum Romæ apud Antonium Bladum Asulanum, Tertio Non. Januarii MDXLVII). — Le même ouvrage a été réédité : Venetiis, apud Curtium Trojanum, MDLXV. — Il a été également traduit en italien sous ce titre : A. Piccolomini, *Sopra le mecaniche d'Aristotile*, trad. da O. V. Biringucci. Roma, Zanetti, 1582.

(2) Édition de 1547, p. 22, verso.

CHAPITRE X

LA RÉACTION CONTRE JORDANUS GUIDO UBALDO — BENEDETTI

§ 1. *Guido Ubaldo, marquis del Monte* (1) (1545-1607)

Dès les débuts de la Statique, nous avons pu observer, aux prises avec les difficultés de cette science, deux sortes d'esprits : l'esprit d'intuition et l'esprit de déduction. Nous avons vu Aristote ou l'auteur, quel qu'il soit, des Μηχανικὰ προβλήματα, jeter des regards profonds en la nature des principes qui doivent régir la science de l'équilibre, quitte à ne point ranger dans un ordre parfait les vues qu'il avait saisies. Nous avons vu Archimède, au contraire, s'efforcer de n'énoncer aucune proposition qui ne se déduise très rigoureusement de postulats clairs et explicitement énoncés.

Précieuse lorsqu'il s'agit d'ordonner et de classer des vérités acquises, la méthode impeccablement déductive du géomètre n'est point celle qui permet de pénétrer d'emblée au cœur d'un problème obscur et de saisir les principes de la solution. C'est l'intuition, et l'intuition seule, qui peut jeter son filet jusqu'au fond des abîmes inconnus et y draguer les vérités dont s'alimentera la science. Mais lorsque le filet est revenu à la surface, lorsqu'est répandue sur le rivage la pêche abondante où les vérités précieuses sont mêlées aux erreurs dangereuses, la déduction doit accomplir son triage minutieux et patient, choisir ce qui est bon, le purifier de toute

(1) D'autres auteurs orthographient autrement ce nom ; M. Favaro, notamment, écrit : *Guidobaldo dal Monte ;* nous suivons l'orthographe adoptée par Pigafetta dans la traduction de la *Mécanique* qu'il publia en 1581, du vivant de l'auteur.

souillure, le ranger avec soin, et rejeter au loin ce qui est faux et mauvais.

Pendant deux mille ans, l'intuition a continué sans relâche sa pêche fructueuse ; elle peut être fière du butin qu'elle a rapporté ; la déduction n'est presque jamais venue à son aide. La plupart des vérités fondamentales de la Statique font partie de ce butin ; mais il est temps que la rigueur géométrique les choisisse, les sépare des idées fausses parmi lesquelles elles sont confondues, les étale en pleine lumière ; car, en présence de cet amas confus où le vrai et le faux sont entassés pêle-mêle, les meilleurs esprits hésitent, ne sachant ce qu'il convient de garder, ce qu'il faut rejeter.

Le triage confié à la méthode déductive est une opération nécessaire, mais qui doit être menée avec discernement et prudence. Les conquêtes les plus précieuses de l'induction n'éclatent pas toujours aux yeux, nettes et scintillantes ; la vase des fonds auxquels elles ont été arrachées les souille encore et les dissimule ; le géomètre pressé et peu clairvoyant est exposé à prendre quelqu'une de ces vérités pour une proposition fausse ou inutile, à la rejeter avec mépris, alors qu'un labeur plus soigneux et mieux éclairé lui en eût fait reconnaître l'insigne valeur.

Trop souvent, l'étroitesse de l'esprit géométrique, en réputant fausses des propositions que l'intuition avait formulées, mais qu'elle n'avait pas suffisamment démontrées, a repoussé de fécondes vérités et retardé le progrès de la science. De cette étroitesse, nous allons trouver de remarquables exemples en étudiant la réaction qu'ont dirigée, contre l'École de Jordanus, Guido Ubaldo et Benedetti ; cette réaction, menée au nom de la rigueur déductive, va révoquer en doute presque tout ce que la méthode intuitive avait découvert, d'Aristote à Léonard de Vinci.

Au milieu du XVIe siècle, d'ailleurs, l'esprit géométrique est particulièrement exalté. Les chefs-d'œuvre de la Science

grecque sont enfin étudiés d'après les textes originaux ; la rigueur et l'élégance que laissaient seulement soupçonner les versions arabes, se montrent en pleine lumière; Pappus, et surtout Archimède, dont les écrits sont demeurés longtemps inconnus, montrent que la méthode déductive peut être suivie avec autant de sévérité dans l'étude de la Mécanique que dans l'exposé de la Géométrie.

Assurément, l'analyse subtile que le grand géomètre de Syracuse avait employée pour déterminer certains centres de gravité ou certains centres de carène ne ravissait pas tous les suffrages. Ceux dont l'esprit se portait surtout vers les applications pratiques des mécaniques ne trouvaient pas que le résultat obtenu valût l'effort fait pour l'obtenir. « Archimède, écrivait Cardan (1), a découvert deux raisons d'être du centre de gravité ; l'une a trait aux poids suspendus, l'autre aux corps flottants sur l'eau ; en chacune de ces inventions, comme en l'étude de l'hélice, on trouve toute la subtilité qu'il est juste d'attendre d'un auteur aussi illustre ; mais le fruit n'est pas proportionné à la peine; depuis l'époque d'Archimède jusqu'à nos jours, il ne s'est rencontré personne qui ait pu montrer quelle sorte d'utilité se peut trouver en une telle contemplation. »

Les esprits amoureux de la beauté géométrique ne partageaient point les sentiments, empreints d'un utilitarisme quelque peu grossier, que professait Cardan. François Maurolycus de Messine (1494-1575) et Frédéric Commandin d'Urbin (1509-1575) traduisaient et commentaient Archimède. Mieux encore : des méthodes créées par l'illustre Syracusain ils donnaient de nouvelles applications ; ils s'en servaient pour déterminer divers centres de gravité jusqu'alors inconnus. Terminées dès 1548, les recherches dirigées en ce sens par Maurolycus parurent seulement

(1) Hieronymi Cardani Mediolanensis civisque Bononiensis *Opus novum de proportionibus numerorum*... Propositio CLXXVI, p. 197; Basileæ, MDLXX.

plus d'un siècle après sa mort (1) ; Commandin vit les siennes imprimées durant sa vie (2). D'autres géomètres suivirent la même voie ; parmi ceux-ci, nous pouvons citer Luca Valerio (3), que Galilée nomme (4) le « second Archimède de son temps », et Guido Ubaldo.

De tels esprits, habitués aux minutieuses exigences de la méthode Euclidienne, devaient être violemment scandalisés à l'aspect des intuitions souvent profondes, mais presque toujours troubles et confuses, des grands mécaniciens du XIIIe siècle. En l'œuvre que ceux-ci avaient laissée, la sagacité des géomètres eût pu trouver un emploi utile et fécond ; elle eût pu s'appliquer à séparer la vérité de l'erreur, à rejeter celle-ci, à affermir celle-là. Mais offusqués par l'erreur qui se manifestait avec évidence, les admirateurs d'Archimède se refusaient à reconnaître, dans la Statique du moyen âge, la très grande et très précieuse part de vérité qu'elle contenait. Leur sens critique, se changeant en esprit de dénigrement, rejetait pêle-mêle tout ce qu'avait produit l'École de Jordanus.

Ainsi l'admiration que les mathématiciens du milieu du XVIe siècle professèrent pour les œuvres achevées et parfaites des géomètres grecs eut, d'abord, cette singulière conséquence de faire reculer la Statique, de déterminer l'abandon de vérités acquises, qu'un labeur pénible, prolongé jusqu'au milieu du XVIIe siècle, parviendra seul à reconquérir.

Cette réaction, nous l'avons dit, est surtout l'œuvre de deux disciples également subtils d'Euclide et d'Archimède : Guido Ubaldo del Monte et Giovanni Battista Benedetti.

(1) *Admiranda Archimedis monumenta omnia quæ exstant*.. ex traditione D. Francisci Maurolyci. Panormi, ap. Cyllenium Hispanicum, MDCLXXXV.

(2) Federici Commandini *Liber de centro gravitatis solidorum*, Bononiæ, MDLXV.

(3) Lucæ Valerii *De centro gravitatis solidorum libri III*, MDCIV.

(4) Galileo Galilei, *Dialoghi delle Scienze nuove*... Giornata seconda.

Guido Ubaldo, marquis del Monte, était un fort habile géomètre ; il maniait avec élégance les procédés chers aux maîtres de la géométrie grecque. Nous en avons pour garants son traité *De la vis* (1) et aussi ses recherches sur les centres de gravité (2) ; des quelques passages, intéressant la Mécanique, que renferment ces dernières, nous aurons à faire mention lorsqu'en un prochain chapitre (Chapitre XV, 3), nous étudierons le principe de Torricelli.

Son traité de Mécanique (3), qui eut une très grande vogue à la fin du XVIe siècle et au début du XVIIe siècle, ne porte point seulement la marque de l'influence exercée par Archimède ; Guido Ubaldo connait Pappus, qu'il cite dans sa *Paraphrasis* aux livres d'Archimède, et, par Pappus, les *Mécaniques* d'Héron d'Alexandrie dont un résumé termine les *Collections mathématiques ;* c'est sans doute à ce résumé qu'il emprunte l'énumération des machines simples dont l'étude compose son traité, énumération qui sera religieusement conservée jusqu'à nos jours.

L'œuvre accomplie en Mécanique par Guido Ubaldo est,

(1) Guidi Ubaldi e Marchionibus Montis *De cochlea libri quatuor*, superiorum permissu et privilegio. Venetiis, apud Evangelistam Deuchinum, MDCXV.

(2) Guidi Ubaldi e Marchionibus Montis *In duos Archimedis æquiponderantium libros paraphrasis*, scholiis illustrata. Pisauri, apud Hieronymum Concordiam, MDLXXXVIII.

(3) Guidi Ubaldi e Marchionibus Montis *Mechanicorum liber*, in quo hæc continentur : De libra, de vecte, de trochlea, de axe in peritrochio, de cuneo, de cochlea. Superiorum permissu et privilegio. Pisauri, apud Hieronymum Concordiam, MDLXXVII. — *Le même ouvrage* a été réimprimé : Venetiis, apud Evangelistam Deuchinum, MDCXV. — Il a été également traduit en italien, sous ce titre, d'une emphase curieuse : *Le mechaniche* dell' illustriss. Sig. Guido Ubaldo de Marchesi del Monte, tradotte in volgare dal Sig. Filippo Pigafetta. Nelle quali si contiene la vera dottrina di tutti gli istrumenti principali di mover pesi grandissimi con picciola forza. A beneficio di chi si diletta di questa nobilissima scienza ; et massimamente di capitani di guerra, ingegnieri, architetti, et d'ogni artefice, che intenda per via di machine far opre maravigliose, e quasi sopranaturali. Et si dichiarano i vocabili, et luoghi piu difficili. In Venetia, appresso Francesco di Franceschi Sanese, MDLXXXI. — Une deuxième édition de cette traduction a paru à Venise en MDCXV.

bien moins que son œuvre de géomètre, propre à servir sa renommée. Nul écrit n'est plus capable de marquer à quel point le souci exagéré de la rigueur déductive peut aveugler l'esprit et lui faire méconnaître les plus précieuses vérités. Intelligence pointilleuse, Guido Ubaldo prend des vétilles pour de graves erreurs ; il reproche sévèrement à ses prédécesseurs d'avoir toujours traité les verticales issues des divers points d'un levier ou d'une balance comme des lignes parallèles entre elles ; or, il commet des inexactitudes lorsqu'il veut tenir compte de leurs mutuelles inclinaisons et, d'ailleurs, dans la plupart des applications, il néglige, lui aussi, ces inclinaisons.

C'est à l'encontre de l'École de Jordanus que s'exerce surtout sa sévérité ; dès le début de son ouvrage, il se propose de reprendre la théorie de la balance « car, dit-il (1), il est étonnant de voir les ruines qu'ont accumulées en cette question Jordanus, qui a joui d'une grande autorité auprès des géomètres modernes, et les autres auteurs qui se sont proposé de discuter ce problème ».

Jordanus a faussement énoncé qu'un levier de bras égaux, aux deux extrémités duquel pendent des poids égaux, se trouvait en équilibre stable ; Guido Ubaldo déclare avec raison qu'un tel équilibre est indifférent. « Mais, ajoute-t-il (2), quelques géomètres professent, au sujet de cette affirmation, une opinion différente au nom de laquelle ils lui objectent plusieurs considérations ; il sera donc nécessaire de s'arrêter quelque temps à ce point ; et je tenterai de défendre, dans la mesure de mes forces, non seulement mon propre avis, mais Archimède lui-même, qui semble avoir été du même avis ». En regard de cette déclaration, une manchette porte ces indications : « Jordanus, *de ponderibus* ; Hieronymus Cardanus, *de subtilitate* ; Nicolaus Tartalea, *de quæsitis ac inventionibus* ».

(1) Guidi Ubaldi *Mecanicorum liber*, ad Franciscum Mariam II, Urbinatum ducem, præfatio.

(2) Guidi Ubaldi *Mecanicorum liber*, de libra, Propositio IV.

La proposition incriminée par Guido Ubaldo est sûrement inexacte ; mais elle constitue une application illégitime d'un lemme très juste et très fécond : Lorsqu'un bras de levier, dont l'extrémité porte un fardeau, tourne autour de son point d'appui, la gravité *secundum situm* du fardeau est d'autant plus petite que le levier est plus près d'être vertical. Cette proposition fondamentale, Guido Ubaldo n'ose la révoquer en doute ; mais il accumule les critiques contre la démonstration que ses prédécesseurs en ont donnée.

Parmi ces critiques, il en est de tout à fait ridicules ; tel le reproche de ne point tenir compte, en ce problème, de la mutuelle inclinaison des verticales.

D'autres objections, mieux fondées en apparence, n'eussent cependant pas arrêté longtemps un esprit plus clairvoyant et moins malveillant.

Ainsi, Jordanus et ses successeurs, pour déterminer le rapport entre la gravité véritable d'un poids et sa gravité *secundum situm*, supposent que le poids descende le long d'un certain arc et comparent la longueur de cet arc à la longueur qu'*il prend du direct ;* or le rapport de ces deux longueurs change selon que l'on considère un arc plus ou moins long. « Si ce raisonnement était vrai, un même poids, dans une même situation, serait tantôt plus lourd, tantôt plus léger, selon que l'on considérerait d'une manière ou d'une autre sa façon de se comporter en cette même situation ; cela est impossible. » La contradiction n'est qu'apparente ; pour connaître le rapport entre la gravité réelle et la gravité de situation, il faut prendre le rapport limite entre l'arc parcouru et sa projection sur la verticale *lorsque l'arc est infiniment petit* ; Jordanus l'avait indiqué aussi clairement qu'on le pouvait attendre d'un auteur du XIIIe siècle ; et le Précurseur de Léonard l'avait plus qu'indiqué en un passage reproduit aux *Quesiti* de Tartaglia ; bien loin qu'il dût repousser une considération de ce genre, Guido Ubaldo, rompu à la méthode des limites

par l'étude des écrits d'Achimède, semblait désigné pour la tirer tout à fait au clair.

Bien au contraire, il rejette résolument toute détermination de la gravité *secundum situm* tirée de l'obliquité de la trajectoire : « L'esprit ne saurait être en repos, tant qu'on n'aura pas assigné aux variations de cette gravité une cause autre que celle-là ; il semble, en effet, que c'en soit le signe plutôt que la vraie raison. Cette variation provient d'une raison autre que celle que l'on tire du mouvement plus ou moins droit ou oblique. »

Quelle est donc cette raison, qui a échappé à l'École de Jordanus ?

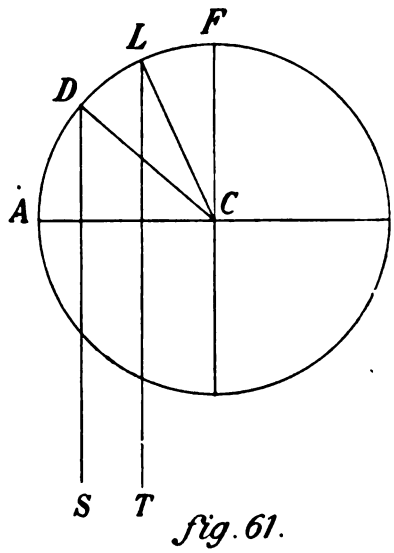

fig. 61.

Considérons en D (fig. 61) un poids mobile sur une circonférence dont le plan est vertical. S'il était libre et débarrassé de toute entrave, il tomberait tout droit par la verticale DS (1). Il en est empêché par le rayon CD qui

(1) Nous négligeons à dessein, en exposant le raisonnement de Guido Ubaldo, la convergence des verticales, dont l'auteur s'embarrasse.

l'oblige à se mouvoir suivant la circonférence, « qui le pousse, en quelque sorte, et qui, en le poussant, soutient partiellement ce poids. Ainsi les lignes CD, CL résistent au poids pour une part, mais non pour une part égale. » Chacune d'elles résiste d'autant plus qu'elle fait avec la verticale un angle plus aigu. En F, où le rayon coïncide avec la verticale, cette résistance annule tout à fait la gravité du mobile. « La ligne CD résiste moins au poids placé en D que la ligne CL ne résiste au poids placé en L. La ligne CD supporte donc moins que CL ; le poids est plus libre en D qu'en L... C'est pourquoi il est plus pesant en D qu'en L... Ainsi donc un même poids peut, par l'effet de la situation qu'il occupe, être plus lourd ou plus léger ; non pas que, par l'effet de cette situation, il acquière réellement une gravité nouvelle ou qu'il perde de sa gravité première ; car il garde toujours la même gravité, en quelque lieu qu'il se trouve ; mais parce qu'il pèse plus ou moins sur la circonférence. »

Ces considérations renferment assurément une idée juste ; lorsqu'un poids est assujetti à glisser sur une certaine trajectoire, il convient de considérer non seulement la composante du poids suivant la tangente à cette trajectoire, mais aussi la composante de la même force suivant la normale au chemin que le mobile est contraint de décrire. Cette pensée, d'ailleurs, s'était déjà présentée, sous maintes formes différentes, à l'esprit de Léonard de Vinci, et Guido Ubaldo ne fait que la retrouver.

Mais, ce point accordé, on ne voit nullement pourquoi il serait plus logique et plus naturel de déterminer en premier lieu la composante normale plutôt que la composante tangentielle ; on ne voit pas que les considérations exposées par Guido Ubaldo lui fournissent une détermination quantitative de la composante normale ; enfin on ne voit pas comment, dans l'ignorance de toute règle de la composition des forces, notre géomètre pourrait tirer,

de la connaissance de la composante normale, la connaissance de la composante tangentielle.

A quel point les opinions de Guido Ubaldo touchant la composition des forces sont encore vagues et erronées, on en jugera par le passage suivant :

Si le bras de balance OD (fig. 62) est plus long que le bras OC, un poids placé en O sera plus lourd s'il pend à l'extrémité du premier bras qu'à l'extrémité du second « car la descente du poids sera plus proche du mouvement

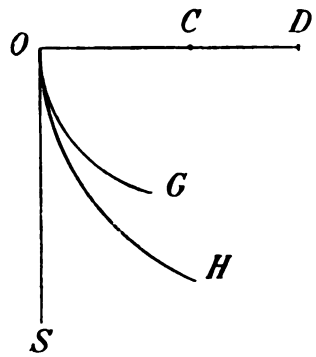

fig. 62

naturel par la circonférence OH que par la circonférence OG. Si donc le centre de la balance est placé en D, le poids sera plus libre et moins lié que si le centre était placé en C ; partant, il sera plus lourd. »

Le P. Mersenne, qui reproduit (1) ce raisonnement en une de ses additions aux *Méchaniques* de Galilée, ajoute : « Aristote croit que la raison en doit estre prise de ce que le centre empesche plus les poids prochains que les éloignez, dautant qu'il les contraint davantage, et leur communique tant qu'il peut son immobilité... Ce que l'on

(1) *Les Méchaniques* de Galilée, mathématicien et ingénieur du duc de Florence, avec plusieurs additions rares et nouvelles, utiles aux architectes, ingénieurs, fonteniers, philosophes et artisans ; traduites de l'italien par L. P. M. M. (le P. Mersenne, Minime). A Paris, chez Henry Guenon, MDCXXXIV ; 2e addition, p. 23.

peut aysément appliquer à l'approche ou à la distance des créatures d'avec la perfection divine, laquelle rend les créatures raisonnables dautant plus fixes et immobiles dans sa grâce et dans la ferme résolution du bien, qu'elles s'en approchent plus près. »

C'est avec raison que le P. Mersenne rapproche ici la pensée de Guido Ubaldo de celle d'Aristote ; le raisonnement que nous avons cité s'inspire de certains passages, et non des meilleurs, des Μηχανικὰ προβλήματα ; c'est par le canal du commentateur péripatéticien de Jordanus ou des *Quesiti* de Tartaglia que le Marquis del Monte reçoit cette inspiration ; la malveillance de son sens critique à l'égard de l'École de Jordanus ne le garde pas toujours des pires défaillances de cette École.

D'ailleurs, si certains raisonnements touchant la gravité de situation gardaient encore comme un reflet de la grande vérité découverte par Jordanus, ce reflet ne tarde pas à s'effacer complètement dans l'intelligence, éprise de fausse rigueur, de Guido Ubaldo. Ce géomètre en vient à méconnaître (1) la notion même de moment d'un poids par rapport au point de suspension d'un levier : « *Si une puissance soutient, par l'intermédiaire d'un levier*, dit-il, *un poids dont le centre de gravité se trouve sur le levier, la puissance nécessaire pour soutenir le poids demeurera la même, quelque position que le levier fasse prendre au poids.*

» Je dis que la même puissance appliquée soit en K, soit en B, soit en G, (fig. 63) soutiendra toujours le même poids. Car, par rapport au levier AB, le poids se comporte comme s'il était pendu en E ; et, par rapport au levier GF, comme s'il était pendu en L ; et, par rapport au levier HK, comme s'il était pendu en M. »

Lorsque le centre de gravité du poids fixé au levier se trouve hors du levier, la grandeur de la puissance dépend

(1) Guidi Ubaldi *Mecanicorum liber*, de vecte, Propositio X.

de l'inclinaison du levier suivant une règle qui change de sens selon que le centre de gravité est au-dessus ou au-dessous du levier. Toujours, le poids fixé au levier agit comme s'il était pendu à ce levier au point où se projette son centre de gravité.

Si l'on entend par *puissance* un poids pendu à l'extrémité du levier, la proposition de Guido Ubaldo est exacte, car l'inclinaison du levier diminue dans le même rapport le moment de ce poids et le moment du poids soulevé. Elle devient fausse, au contraire, si la puissance demeure

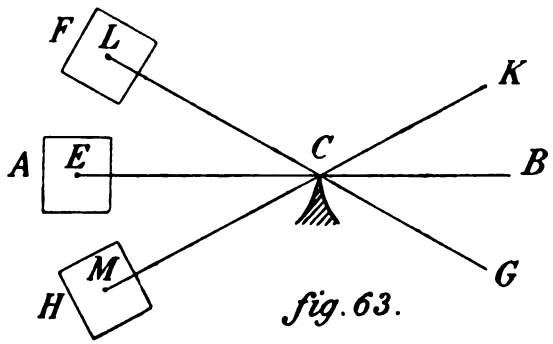

fig. 63.

toujours normale au bras de levier ; tel l'effort exercé par la main du manœuvre. Or tout, dans l'écrit de Guido Ubaldo, semble indiquer que ce géomètre entend le mot *puissance* au second des deux sens.

En effet, si le mot *puissance* avait pour lui le même sens que le mot *poids suspendu*, on ne s'expliquerait pas pourquoi il distingue le levier de la *balance*, fléau rectiligne et sans pesanteur aux extrémités duquel pendent deux poids ; pourquoi, après avoir donné, à la manière d'Archimède, la théorie du second de ces instruments, il croit devoir établir spécialement les lois du premier ; pourquoi, en la déduction qui étend à un levier horizontal les lois de la balance, il prend soin de préciser qu'il substitue à la puissance un poids suspendu de même grandeur

qui, dans ces conditions, lui est sûrement équivalent ; pourquoi, enfin, les figures, qui portent toujours le dessin d'un poids suspendu lorsque Guido Ubaldo raisonne d'un tel poids, marquent seulement le point d'application de la puissance, lorsque c'est de cette notion qu'use la déduction.

Il semble donc qu'en la Mécanique de Guido Ubaldo comme, plus tard, dans les écrits de Descartes, la *puissance* appliquée au levier soit une force perpendiculaire à la direction du bras de levier ; dès lors, sa théorie du levier serait gravement erronée (1).

Remarque piquante ! L'auteur qui professait cette théorie a passé, et passe encore, auprès de bon nombre de mécaniciens, pour l'inventeur de la notion de *moment* ; cette réputation usurpée, il la doit à un passage de la *Mécanique analytique* de Lagrange. Voici ce passage (2).

«... C'est ce qu'on appelle maintenant le principe des *momens*, en entendant par moment le produit d'une force par le bras de levier sur lequel elle agit ... Ce principe général suffit pour résoudre tous les problèmes de Statique. La considération du treuil l'avait fait apercevoir dès les premiers pas que l'on a faits après Archimède dans la théorie des machines simples, comme on le voit par l'ouvrage du Guide Ubaldi, intitulé *Mecanicorum*

(1) Les géomètres qui ont reproduit la théorie de Guido Ubaldo ont eu soin de la préciser et de la corriger sur ce point. Pierre Herigone (*a*) entend par *puissance* un poids suspendu au bras du levier, ainsi que le montrent les figures dont il fait usage ; les théorèmes de Guido Ubaldo deviennent alors exacts. Plus soigneux encore, Jacques Rohault, dans son traité posthume (*b*), traite séparément le cas où la puissance est représentée par un poids pendant librement et le cas où elle demeure toujours perpendiculaire au bras de levier. Le soin que ces auteurs ont pris de préciser la pensée de Guido Ubaldo montre assez combien celle-ci était incertaine, sinon erronée.

(2) Lagrange, *Mécanique analytique*, 1re partie, Section I, Sur les différents principes de la Statique, art. 4.

(*a*) Pierre Herigone, *Cours de Mathématique*, t. III ; les Méchaniques, Proposition VI. Paris, 1634.

(*b*) *Œuvres posthumes* de M. Rohault (publiées par Clerselier). Traité des Méchaniques, Proposition XI. Paris, 1682.

liber, qui a paru à Pesaro en 1577 ; mais cet auteur n'a pas su l'appliquer au plan incliné, ni aux autres machines qui en dépendent, comme le coin et la vis, dont il n'a donné qu'une théorie peu exacte. »

Rien dans ce que Guido Ubaldo dit du treuil ne justifie cette opinion de Lagrange ; en voici, d'ailleurs, une autre (1), du même auteur, qui n'est pas moins favorable à Guido Ubaldo et qui n'est guère mieux fondée :

« Pour peu qu'on examine les conditions de l'équilibre dans le levier et dans les autres machines, il est facile de reconnaître cette loi, que le poids et la puissance sont toujours en raison inverse des espaces que l'un et l'autre peuvent parcourir en même temps ; cependant, il ne paraît pas que les anciens en aient eu connaissance. Guido Ubaldi est peut-être le premier qui l'ait aperçue dans le levier et dans les poulies mobiles ou moufles. Galilée l'a reconnue ensuite... »

En fait, la loi dont parle ici Lagrange était connue depuis Aristote ; elle était d'un usage banal auprès des géomètres de l'École d'Alexandrie comme auprès des mécaniciens du moyen âge ; Jordanus avait montré comment il convenait de la modifier pour l'appliquer correctement au levier droit ; le Précurseur de Léonard de Vinci en avait tiré la théorie du levier coudé et du plan incliné ; Léonard de Vinci et Cardan en avaient fait l'application aux moufles, aux vis, à une foule de machines ; il eût été bien surprenant que Guido Ubaldo l'ignorât.

Guido Ubaldo connaît donc cette loi, non point sous la forme achevée que lui avaient donnée Jordanus et le Précurseur de Léonard de Vinci, mais sous la forme où la présentaient les *Quæstiones mechanicæ* d'Aristote. D'ailleurs, il se garde bien d'y voir le principe d'où doit découler la Statique tout entière ; il la relègue au rang de remarque ou de corollaire.

(1) Lagrange, *loc. cit.*, art. 16.

Guido Ubaldo, par exemple, établit la loi d'équilibre du levier par des artifices imités d'Archimède ; cette loi une fois connue, il en déduit que la puissance capable de soutenir un poids est à ce poids comme sont entre eux, dans la rotation du levier, les trajets décrits par les extrémités ; il ajoute ce corollaire (1) : « *Il est manifeste par là que le rapport du trajet de la puissance mouvante au trajet du poids mû est plus grand que le rapport du poids à la puissance.* En effet, le trajet de la puissance est au trajet du poids comme le poids est à la puissance qui le soutient ; mais la puissance capable de soutenir le poids est moindre que la puissance capable de le mouvoir ». Le poids agit toujours suivant la verticale, tandis que, pour Guido Ubaldo, la puissance est probablement normale au levier ; le rapport de ces deux forces capables de s'équilibrer change suivant l'inclinaison du levier ; mais Guido Ubaldo, nous l'avons vu, paraît avoir nié ce changement. D'autre part, une saine intelligence des principes de la Mécanique exigerait que l'on comparât au trajet décrit par le point d'application de la puissance non pas le trajet décrit par le point d'application du poids, mais la projection de ce trajet sur la verticale ; Guido Ubaldo ne se soucie point de cette distinction. On voit combien ses idées au sujet du rapport qui existe, en toute machine, entre le travail moteur et le travail résistant sont encore vagues et peu sûres.

Les difficultés qu'offre l'application de cette loi au levier ne se présentent plus lorsqu'il s'agit de poulies ou de moufles qui soulèvent verticalement un poids à l'aide d'une puissance tirant toujours dans une même direction ; là, la puissance est au poids qu'elle équilibre comme le trajet parcouru par le poids est au trajet décrit par la puissance. Guido Ubaldo pourra donc appliquer correcte-

(1) Guidi Ubaldi *Mecanicorum liber*, de vecte, Propositio III.

ment à ces machines la loi en question (1); mais, pas plus qu'il ne l'a fait pour le levier, il ne la prendra pour principe de leur théorie. Il ramènera l'étude de chaque groupement de poulies à l'analyse d'un certain assemblage de leviers ; puis, une fois établie la condition d'équilibre de la moufle considérée, il déduira de cette condition la remarque qu'entre un poids et la puissance qui le soutient, il y a même rapport qu'entre le chemin parcouru par la puissance et le chemin parcouru par le poids. Fastidieusement, ce corollaire reviendra après l'étude de chaque sorte de moufle. D'ailleurs, comme il faut, selon Guido Ubaldo, une plus grande puissance pour mouvoir un poids que pour le tenir en équilibre, il ajoutera (2) : « Il est manifeste par ce qui précède que le rapport du trajet de la puissance mouvante au trajet du poids est toujours plus grand que le rapport du poids à la puissance mouvante. »

En la Mécanique péripatéticienne, il était naturel de considérer avant toutes choses le rapport des *vitesses* entre la puissance mouvante et le poids mû ; Guido Ubaldo attache surtout son attention au rapport des *trajets* que ces deux forces parcourent en même temps ; bien que les deux rapports soient égaux entre eux, il y a là un changement de point de vue qui mérite d'être signalé ; la Statique de Guido Ubaldo, en effet, a sûrement influé sur Descartes qui, si nettement, a proclamé la nécessité de considérer non point les *vitesses* virtuelles, mais les *déplacements* virtuels.

Ce n'est pas à dire que Guido Ubaldo, dans l'étude des machines, laisse entièrement de côté, comme l'exigera Descartes, la considération des *vitesses* ou des *durées* de transport ; mais cette considération, il la rejette au dernier plan ; c'est, par exemple, tout à fait à la fin de son

(1) Guidi Ubaldi *Mecanicorum liber*, de trochlea, Propositiones X ad XXVIII.

(2) Id., *ibid.*, de trochlea, Propositio XXVI, Corollarium.

étude des poulies et des moufles qu'il formule la proposition suivante (1) : « Il est manifeste par ce que nous avons dit que plus un poids est mû facilement, plus il faut de temps pour le mouvoir ; que plus il est difficile à mouvoir, plus il est mû rapidement. »

La théorie du treuil (2) est construite sur le même plan que la théorie des assemblages de poulies ; elle se termine par les mêmes comparaisons entre le trajet décrit par la puissance mouvante et le trajet décrit par le poids mû ; entre l'aisance avec laquelle on meut un poids et le temps qu'il faut pour le mouvoir ; ici encore, ces comparaisons sont données comme des corollaires de la condition d'équilibre du treuil, et non comme des principes d'où se puisse tirer cette condition d'équilibre.

Après avoir sommairement ramené (3) l'étude du coin à la théorie du levier, Guido Ubaldo réduit (4) la vis à une combinaison du levier et du plan incliné. Cette réduction est obtenue exactement, mais le marquis del Monte n'en saurait tirer une théorie satisfaisante de la vis, car il s'attache à la loi du plan incliné qu'a formulée Pappus. En effet, l'une des pires conséquences de la réaction immodérée que l'admiration exclusive des anciens provoqua contre la Statique du XIIIe siècle fut le retour à la théorie de Pappus, théorie si essentiellement opposée aux principes de l'École de Jordanus, puisqu'elle attribue à un corps mobile sur un plan horizontal une gravité *secundum situm*, bien que son trajet ne prenne nullement du *direct*. La doctrine de Pappus rentra si bien en faveur auprès des géomètres que Galilée eut peine à la faire de nouveau rejeter, à établir que la moindre force suffit à mouvoir un corps sur un plan horizontal parfaitement poli. La loi

(1) Guidi Ubaldi *Mecanicorum liber*, de trochlea, Propositio XXVIII, Corollarium II.
(2) Id., *ibid.*, de axe in peritrochio.
(3) Id., *ibid.*, de cuneo.
(4) Id., *ibid.*, de cochlea.

du plan incliné formulée par Pappus ne peut donner de la vis qu'une théorie inexacte ; aussi est-ce sans aucune démonstration que Guido Ubaldo énonce ce corollaire : « Il est manifeste par ce qui précède que plus les tours de l'hélice sont nombreux, que plus les manivelles ou bras de cabestan sont longs, plus le poids est mû facilement, mais lentement. »

Œuvre parfois erronée, toujours médiocre, la Mécanique de Guido Ubaldo est souvent en recul sur les idées qu'avaient publiées les écrits de Tartaglia et de Cardan. Il nous fallait cependant l'étudier en détail, car elle eut grande vogue à la fin du XVIe siècle et au commencement du XVIIe siècle ; bien souvent, nous aurons à noter l'influence qu'elle exerça sur les écrits composés à cette époque.

2. *Giovanni Battista Benedetti* (1530-1590)

Giovanni Battista Benedetti n'était point fort modeste ; il avait grande confiance dans l'originalité de son génie. Au début de l'un de ses ouvrages (1), il dit, en s'adressant au lecteur : « Dans ces livres, je n'ai rien publié que j'aie souvenir d'avoir lu ou d'avoir ouï dire. Si j'ai parfois touché à des choses qui n'étaient point miennes, ou bien j'en ai modifié la démonstration en quelque point, ou bien je les ai exposées plus clairement. Que si, par hasard, quelqu'un a publié quoi que ce soit de semblable, c'est que ses productions ne me sont point parvenues ou que j'ai oublié de les avoir lues. » Au premier rang des découvertes dont il se montre fier, il place ses recherches de

(1) Jo. Baptistae Benedicti, patritii Veneti, philosophi, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, quarum seriem sequens pagina indicabit. Ad serenissimum Carolum Emmanuelem Allobrogum et Subalpinorum ducem invictissimum Taurini, apud hæredem Nicolai Bevilaquæ, MDLXXXV.

Mécanique, sur lesquelles il compte pour assurer l'immortalité à son nom (1) : « Atque vel hoc uno modo me inter humanos vixisse testatum reliquerim ».

Il s'en faut, d'ailleurs, que cette fierté fût sans motif légitime ; à peine âgé de vingt-trois ans, Benedetti avait donné une preuve manifeste de son originalité.

Il était communément admis que de deux corps, formés de la même matière, dont l'un avait un volume double de l'autre, celui-là tombait deux fois plus vite que celui-ci. Cette proposition était un axiome de la Physique péripatéticienne. Elle formait le principal objet du fragment *De ponderoso et levi* attribué à Euclide. Jordanus en avait fait le premier théorème de son traité *De ponderibus*. Ses divers commentateurs, aussi bien le Commentateur péripatéticien que le Précurseur de Léonard, avaient soigneusement conservé ce théorème. Léonard de Vinci l'avait formulé à plusieurs reprises et, dans les *Quesiti et Inventioni diverse*, Tartaglia avait reproduit l'exposé si précis qu'en donnait le *De ponderoso et levi*.

C'est contre cette proposition si universellement admise que, dès son premier écrit (2), Benedetti osa s'inscrire en faux. Dans la dédicace de son ouvrage, adressée à Gabriel de Guzman (3), il montrait par un raisonnement très simple que des corps de même substance et de volume différent doivent tomber avec la même vitesse. Ce raisonnement, repris dans le *Diversarum speculationum* (4), devait être reproduit par Galilée dans ses premières

(1) J. B Benedicti *Diversarum speculationum*..... p. 141. De mechanicis.

(2) *De resolutione omnium Euclidis problematum aliorumque ad hoc necessario inventorum una tantummodo circuli data apertura*, per Joannem Baptistam de Benedictis inventa. A la dernière page : Venetiis, apud Bartholomæum Cæsanum. MDLIII.

(3) Ce passage a été reproduit par Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, note XXV, t. III, p. 258.

(4) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum*... Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis, Cap. X, p. 174. — Ce passage est également reproduit par Libri, *loc. cit.*, p. 264.

recherches. La proposition à laquelle il avait conduit Benedetti fut également adoptée par Cardan (1), qui la justifia, d'ailleurs, par de singulières raisons. Plagiées par Jean Taisnier (2), les considérations développées par Benedetti au cours de son premier ouvrage parvinrent ainsi à la connaissance de Stevin ; celui-ci, en collaboration avec Jean Grotius, les soumit au contrôle de l'expérience (3) ; il trouva qu'elles ne s'accordaient pas mieux avec les faits que les principes enseignés par Aristote.

Benedetti pouvait, à bon droit, revendiquer l'originalité de son idée et terminer sa dédicace à Gabriel de Guzman par ces paroles : « Cette vérité ne procède point de l'esprit d'Aristote, ni de l'esprit d'aucun de ses commentateurs dont j'aie eu occasion de voir et de lire les ouvrages, ou dont j'aie pu converser avec ceux qui professent l'opinion de ce philosophe. » Sa doctrine nouvelle le mettait en opposition avec toute la Mécanique péripatéticienne.

Nous ne saurions donc être étonnés de lui voir rejeter la théorie de la balance fondée sur le Principe des vitesses virtuelles ; les lois de cet instrument « ne dépendent (4) aucunement de la rapidité ni de la lenteur du mouvement ».

Mais Benedetti ne se contente pas de rejeter la Statique d'Aristote ; il condamne avec une égale sévérité les doc-

(1) Hieronymi Cardani Mediolanensis, civisque Bononiensis, philosophi, medici et mathematici *Opus novum de proportionibus* ; Basileæ, ex officina Henricpetrina, Anno Salutis MDLXX, Mense Martio. Liber V, Propositio CX, p. 104.

(2) Joannis Taisnierii Hannonii *Opusculum perpetuum memoria dignissimum de natura magnetis et ejus effectibus. Item de motu continuo, demonstratio proportionum motuum localium contra Aristotelem et alios philosophos ; de motu alio celerrimo hactenus incognito, atque de fluxu et reflexu maris.* Coloniæ Agrippinæ, MDLXII.

(3) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum statica.* Appendix Statices. Caput II : Res motas impedimentis suis non esse proportionales, p. 151. Lugodini Batavorum, MDCV.

(4) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum...* De mechanicis, Cap. XI, p. 153.

trines de l'École de Jordanus. Deux chapitres (1) de son ouvrage sont consacrés à examiner « diverses erreurs professées par Tartalea touchant le poids des corps et leurs mouvements, erreurs dont quelques-unes ont été empruntées à un vieil auteur nommé Jordanus ».

Benedetti ne se borne pas à repousser les affirmations erronées qu'a produites Jordanus et que Tartaglia a répétées; aucune proposition formulée par ces auteurs ne trouve grâce à ses yeux.

Jordanus, par exemple, a fort exactement montré comment la gravité *secundum situm* d'un point mobile sur une circonférence tracée dans un plan vertical diminuait au fur et à mesure que le point s'éloignait du diamètre horizontal. « Ce qu'il écrit est vrai, déclare Benedetti, mais la cause que Jordanus, d'abord, et Tartalea ensuite ont assignée à cet effet n'est point fondée en nature. »

« La huitième proposition de Tartalea, qui est la sixième question de Jordanus, est bien mieux démontrée par Archimède; ni Jordanus, ni Tartalea n'en ont prouvé l'exactitude. » Le raisonnement que Benedetti traite avec un semblable dédain n'est autre que la démonstration si belle et si féconde par laquelle Jordanus de Nemore a justifié la loi d'équilibre du levier.

Le Précurseur de Léonard a montré que la gravité *secundum situm* d'un poids placé sur un plan incliné était la même en tout point de ce plan. Cette proposition pourrait, à bon droit, être réputée évidente. Selon Benedetti « elle est fausse pour deux raisons ».

Cette proposition n'est d'ailleurs, dans l'œuvre du Précurseur de Léonard de Vinci, qu'une sorte de lemme par lequel il prépare sa belle solution du problème du plan incliné. Mais celle-ci ne ravit point les suffrages de notre géomètre pointilleux : « La quinzième question de Tar-

(1) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum*... De mechanicis, Cap. VII et Cap. VIII.

talea est la onzième question de Jordanus, dont l'ouvrage a été tiré des ténèbres de l'oubli et publié par Trojanus, l'éditeur de Venise. *Elle ne vaut absolument rien* ».

A quoi se réduira la Statique de Benedetti, après qu'il aura rejeté avec une telle sévérité tout ce qui dépend de la considération des déplacements virtuels? A la règle du levier et à la notion du moment d'un poids par rapport à un point.

« Le poids pendu à l'extrémité d'un fléau de balance, dit-il (1), possède une gravité plus ou moins grande selon la situation qu'il occupe... Le poids ne pourrait descendre par la verticale F*u*M (fig. 64), à moins que le bras FB

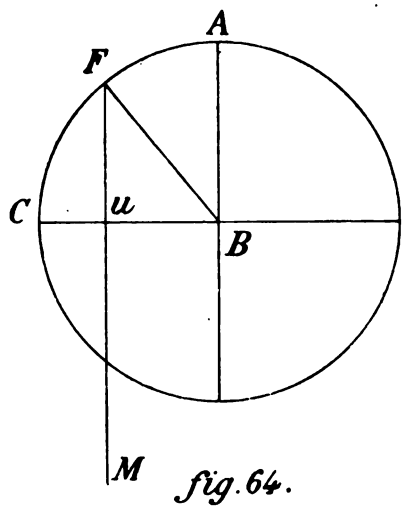

fig. 64.

ne devînt plus court. Il est donc clair que le poids F exerce un certain effort sur le centre B par l'intermédiaire du bras FB... Il nous faut maintenant présupposer que le poids porté par l'extrémité du bras exerce au centre B un effort d'autant plus grand que sa verticale (soit F*u*M) est plus proche du centre..., en sorte que plus le poids F

(1) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum*... De mechanicis, Cap. I.

sera voisin de A, plus il se reposera sur le centre et plus il sera léger. »

En dépit des prétentions de Benedetti à l'originalité absolue, nous reconnaissons sans peine le préambule dont nous venons de citer quelques phrases ; il est emprunté à Guido Ubaldo. La suite (1) ne nous est pas moins connue ; le Précurseur de Léonard la pourrait revendiquer :

« Le rapport qu'a la gravité d'un poids placé en C à la gravité du même poids placé en F est égal au rapport du bras BC tout entier à la partie B*u*... Il revient au même que le poids F, égal à C, soit en F, à l'extrémité du bras BF, ou bien en *u*, à l'extrémité du bras horizontal B*u*. Cela nous semblera évident si nous imaginons un fil vertical F*u* à l'extrémité *u* auquel pendrait le poids qui se trouvait en F ; il est clair, que le poids ainsi suspendu produira le même effet que s'il se trouvait en F. »

Cette notion de moment d'un poids par rapport à un point, Benedetti la généralise (2) de suite pour une force quelconque :

« Lorsqu'on voudra comparer les unes aux autres les grandeurs qui mesurent les effets de poids ou de puissances motrices, on déterminera chacune d'elles au moyen de la perpendiculaire abaissée du centre du levier sur la direction de la force. »

Or cet énoncé n'est point, lui non plus, règle nouvelle ; il se trouve, presque textuellement dans les mêmes termes, parmi les notes de Léonard de Vinci (3) ; et les figures que trace le grand peintre ressemblent fort à celles dont Benedetti appuie ses démonstrations.

D'ailleurs, à partir de ce point, nous ne trouverons plus rien en la Statique de Benedetti qui ne reproduise très fidèlement les pensées de Léonard de Vinci.

(1) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum*... De mechanicis, Cap. II
(2) Id., *ibid.*, De mechanicis, Cap. III.
(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. I de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 30, recto. Cf. Chapitre II.

Ainsi, notre géomètre entreprend de montrer « comment tous les effets des balances et des leviers dépendent des causes susmentionnées ... Imaginons, ajoute-t-il, que les poids soient suspendus aux points *u* et *n* (fig. 65),

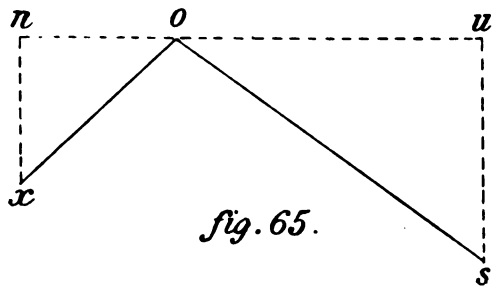

fig. 65.

auxquels ils sont suspendus en réalité, lors même qu'ils sont attachés en *s* et *x*, car le point *u* est lié de telle sorte au point *s* et le point *n* au point *x*, que qui tire l'un tire l'autre. » La règle que justifient ces considérations n'avait-elle pas été déjà tirée par Léonard du manuscrit de son Précurseur (1) ?

La théorie de l'équilibre du levier coudé conduit Benedetti à exposer (2) fort exactement la théorie de la stabilité de la balance : « Soit AB (fig. 66) la balance dans sa position horizontale ; soit E le point de suspension qui se trouve au-dessus de la balance ; abaissons l'extrémité A jusqu'en F, de telle sorte que la balance soit en FH ; son point milieu se trouvera en G du même côté de la verticale VZ que le point B ; VZ coupera le bras FG en un point D ; DH sera donc plus long que FD. Supposons maintenant, ce qui est très exact, qu'il revienne au même pour la balance placée en FH d'être supportée par le point E ou par le point D. Il en résultera que le poids pendu en H surpassera en gravité le poids pendu en F dans le même rapport que DH surpasse DF. Ainsi, lors même que le fléau matériel FH serait supposé sans

(1) Cf. Chapitre VIII, 1 et fig. 39.

(2) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum*... De mechanicis, Cap. XII.

aucune gravité, l'excès de la puissance du poids placé en H, puissance qui est beaucoup plus grande que celle du poids placé en F, suffirait à expliquer pourquoi la balance revient à la position horizontale. »

C'est avec raison que Benedetti regarde cette théorie de la stabilité de la balance comme en progrès sur celle qu'avait proposée Aristote ; mais il n'en est point l'inven-

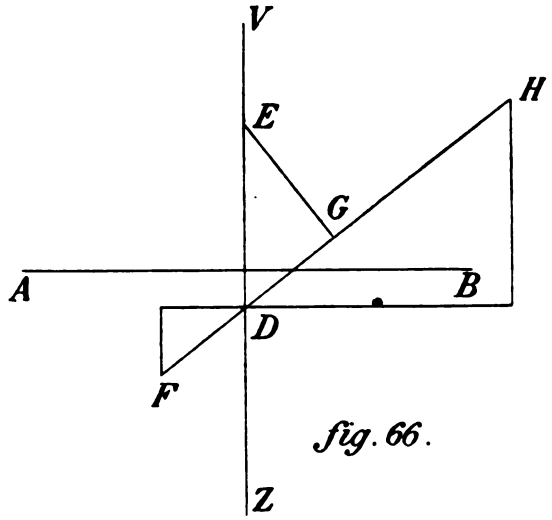

fig. 66.

teur ; Léonard l'a clairement formulée (1) et elle n'était pas demeurée inaperçue aux yeux de Cardan (2).

Ces passages ne sont point les seuls où se manifeste l'influence exercée sur les pensées de Benedetti par les notes de Léonard de Vinci.

Benedetti ne traite pas les moufles par le Principe des déplacements virtuels ; comme Guido Ubaldo, il assimile ces appareils à des combinaisons de leviers (3) ; mais

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 57, verso ; fol. 58, recto ; fol. 59, recto. — Cf. Chapitre VIII, 1.

(2) Cf. Chapitre IX, 2.

(3) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum*... De mechanicis, Caput XXI.

tandis que le marquis del Monte raisonne sur des figures qui reproduisent les dispositions habituellement données aux palans, Benedetti se sert de schèmes très simplifiés.

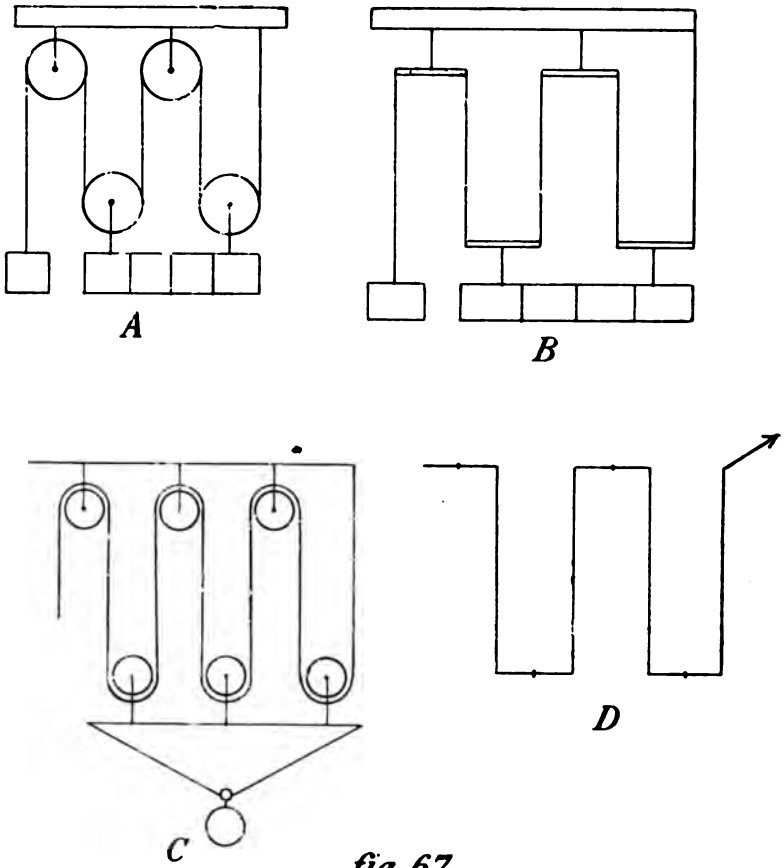

fig. 67.

Or, ces schèmes, il suffit d'y jeter les yeux pour reconnaître des dessins imaginés par Léonard de Vinci (1). En la fig. 67, les dessins A et B sont ceux de Léonard, les dessins C et D ceux de Benedetti.

De Léonard, Benedetti reproduit même les erreurs ;

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien, Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 55, recto.

un Chapitre (1), par exemple, est consacré à répéter la règle inexacte de composition des forces à laquelle le grand peintre s'était arrêté, après avoir clairement vu la loi véritable.

En ce Chapitre, Benedetti considère un poids *n* (fig. 68) que soutiennent deux appuis *n o*, *n u*. Si ces deux appuis sont de même obliquité, « il est clair par le sens commun que la vertu du poids *n* se divisera en deux parties égales,

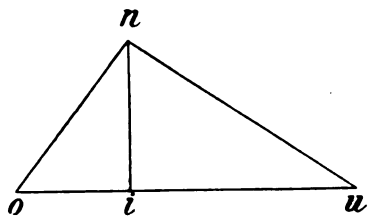

fig. 68.

une moitié reposant en *o* et l'autre moitié en *u*, par l'intermédiaire des deux lignes *n o*, *n u* ». Dans le cas général, « il est clair que si la verticale *n i* est plus éloignée du point d'appui *u* que du point d'appui *o*, une part plus considérable du poids *n* s'appuiera en *o* qu'en *u*. La partie du poids *n* qui presse en *o* sera à la partie du poids *n* qui presse en *u*, non pas dans le rapport des angles *u n i*, *o n i*, mais dans le rapport des longueurs *u i*, *o i*. »

Certaines idées fausses de Léonard de Vinci nous sont donc pieusement conservées par Benedetti ; mais des pensées fécondes qui avaient agité ce grand génie, des belles découvertes faites par son Précurseur, que reste-t-il en la Statique de Guido Ubaldo et de Benedetti ? Presque rien. Toutes ces vérités, il faudra les découvrir à nouveau. C'est à quoi vont s'employer Galilée, Simon Stevin, Roberval, Descartes et Torricelli.

(1) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum*... De mechanicis, Cap. V.

CHAPITRE XI

GALILEO GALILEI

(1564-1642)

Ce fut longtemps un pauvre hère que Galilée. A vingt-cinq ans, en 1589, il était dans la misère ; ses amis obtinrent pour lui une chaire de mathématiques à l'Université de Pise, avec un traitement annuel de soixante écus. Muni de pareilles ressources, il lui fallait subvenir aux besoins d'une nombreuse famille dont, par la mort de son père, il était devenu le seul soutien. Encore, après trois ans, perdit-il cette maigre sportule, parce qu'il avait froissé l'amour-propre d'inventeur de Jean de Médicis. Dans l'été de 1592, Galilée se rendit à Venise ; la malle qu'il emportait en quittant Florence ne pesait pas cent livres ; elle renfermait tout son avoir (1).

Ce dénûment profond ne permettait guère à Galilée de trouver un éditeur pour ses écrits ; lorsqu'en 1606 il fit imprimer son premier livre, qui a trait au compas de proportion, il professait depuis dix-sept ans et avait déjà fait de nombreuses découvertes.

A défaut de libraire, il faisait ou faisait faire des copies de ses écrits, et il envoyait ces copies à ses amis, en Italie ou hors de l'Italie. Il garda, d'ailleurs, cette habitude jusqu'à la fin de sa vie. Lorsqu'en 1636 il eut terminé ses célèbres *Discorsi*, au lieu de les faire imprimer, il en fit circuler par l'Europe savante des exemplaires manuscrits.

Parfois, ceux qui obtenaient copie d'une œuvre du grand géomètre ne voulaient point garder pour eux seuls la connaissance des découvertes qui excitaient leur admi-

(1) Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, Paris, 1841 ; t. IV, pp. 176-180.

ration, et ils livraient à l'imprimeur le manuscrit de Galilée ; ainsi, en 1634, Mersenne publia une traduction française des *Méchaniques*, alors que le traité italien ne devait être imprimé qu'après la mort de Galilée ; en 1636, un exemplaire manuscrit des *Discorsi* de Galilée étant parvenu, à Paris, entre les mains de M. Conte, celui-ci ne voulut pas frauder le monde d'un tel trésor et en communiqua une copie aux Elzévirs, les grands imprimeurs de Leyde, qui l'éditèrent en 1638 (1).

Mais la plupart des ouvrages communiqués en manuscrit par Galilée avaient un sort moins heureux ; leurs seuls éditeurs étaient les lecteurs peu scrupuleux qui y glanaient plus d'une idée neuve et se les appropriaient sans vergogne. Plusieurs de ces manuscrits ont été publiés après un oubli séculaire ; d'autres ont été perdus.

Grâce à ces diverses circonstances, il est parfois difficile de suivre la marche progressive de la pensée de Galilée et de marquer l'influence exercée sur les savants contemporains par la diffusion de cette pensée. Toutefois, l'étude attentive des nombreux documents que nous possédons aujourd'hui nous permet de retracer les principales étapes par lesquelles Galilée est parvenu à ses découvertes en Mécanique, et notamment en Statique.

Passons en revue les sources où nous puiserons pour connaître ce que le développement de la Statique doit à Galilée.

1° Le fragment le plus ancien que nous possédions est assurément un *Commentaire au De Cœlo* d'Aristote, conservé en manuscrit à Florence et demeuré inédit jusqu'à l'*Édition nationale* des œuvres de Galilée qui, en 1888, a fait connaître cet opuscule (2). Ce travail, écrit en latin,

(1) Viviani, *Vita di Galileo Galilei*, cavati da FASTI CONSOLARI DALL' ACCADEMIA FIORENTINA di Salvino Salvini. Firenze, MDCCXVII.

(2) Cet opuscule se trouve aussi dans l'édition suivante : *Le Opere di Galileo Galilei*, ristampate fedelmente sopra la Edizione nazionale con approvazione del Ministerio della publica Instruzione. Vol. I (seul paru). Firenze, Successori Le Monnier, 1890.

n'intéresse notre objet qu'en un seul point; il nous montre qu'à l'époque où il fut composé, Galilée était encore fidèle péripatéticien, bien qu'il eût déjà lu et qu'il citât le *De Subtilitate* de Cardan (1) et les *Exercitationes* de Scaliger (2); les pensées de ces auteurs ne sont agréées par lui qu'autant qu'elles s'accordent avec la tradition de l'École; c'est à cette tradition, et non aux argumentations de Cardan contre le mouvement perpétuel, qu'il emprunte ces deux aphorismes (3) : *Motus simplex terminatur ad quietem. Nullum violentum potest esse perpetuum.*

2° L'*Édition nationale* des œuvres de Galilée a fait connaître également deux rédactions, conservées manuscrites à Florence, d'un traité latin *De Motu* (4). L'étude de ce traité a une grande importance ; on y voit naître les premières idées de Galilée sur la Statique, l'Hydrostatique, la Dynamique.

3° Une partie de ce traité latin *De Motu* fut reprise par Galilée et rédigée, toujours en latin, sous la forme de dialogue, forme pour laquelle il montra toute sa vie une grande prédilection. Ce dialogue fut publié pour la première fois dans le tome XI de l'édition en 16 volumes des œuvres de Galilée qu'Alberoni donna à Florence (1842-1856) (5).

4° Dans tous ses traités *De Motu*, Galilée a longuement discouru des corps solides flottants sur un liquide ; les idées qu'il avait émises sont développées dans l'écrit intitulé : *Discorso al Serenissimo Don Cosimo II, Gran Duca di Toscana, intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono, di* Galileo Galilei, *filosofo e matematico della medesima Altessa Serenissima* (Discours au Sérénissime Don Côme II, Grand Duc de Toscane, sur

(1) A la p. 122 de l'édition précédente.
(2) Aux pp. 76 et 77 de l'édition précédente.
(3) A la p. 61 de l'édition précédente.
(4) Ces deux rédactions *De Motu* se trouvent également au vol. I de l'édition de 1890.
(5) Ce dialogue *De Motu* est reproduit au vol. I de l'édition de 1890.

les corps qui flottent sur l'eau ou qui se meuvent dans son sein, par Galileo Galilei, philosophe et mathématicien de ladite Altesse Sérénissime). Cet écrit, imprimé à Florence en 1612, ne renferme pas seulement l'exposé des théories hydrostatiques de Galilée ; il contient la première définition d'une notion, celle du *momento*, dont l'importance est grande dans la Statique de l'illustre géomètre.

5° Sous le nom de *Mécanique*, Galilée entend l'étude des machines simples ; sa Mécanique nous est aujourd'hui connue sous trois formes différentes.

La première se trouve en un manuscrit, de la main de Galilée ; ce manuscrit fut la propriété du prince Hermann de Fürstenberg, disciple du P. Kircher, à Rome, en 1646 ; transporté par lui en Allemagne, il est conservé aujourd'hui à Ratisbonne, dans les archives de la famille de Tour-et-Taxis. Ce manuscrit est le résumé des leçons faites par Galilée à l'Université de Padoue, en 1594, comme l'indique son titre : *Delle Meccaniche lette in Padova dal S^r^* Galileo Galilei *l'anno 1594*. Il a été publié en 1899 par M. A. Favaro (1).

6° En 1634, le P. Marin Mersenne, religieux minime, publiait à Paris, chez Henry Guenon, un petit volume composé de trois ouvrages. Deux de ces ouvrages, les *Préludes de l'Harmonie universelle* et les *Questions théologiques, physiques, morales et mathématiques* étaient des écrits originaux du laborieux et fécond religieux ; le troisième était formé par les *Méchaniques* de Galilée, traduites d'après un manuscrit italien (2) ; cet ouvrage est

(1) *Delle Meccaniche lette in Padova l'anno 1594* da Galileo Galilei, per la prima volta pubblicate ed illustrate da Antonio Favaro (MEMORIE DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI. Vol. XXVI, n° 5, 1899).

(2) *Les Méchaniques de Galilée*, Mathématicien et Ingénieur du Duc de Florence, avec plusieurs additions rares et nouvelles, utiles aux Architectes, Ingénieurs, Fonteniers, Philosophes et Artisans ; traduites de l'italien par L. P. M. M. ; à Paris, chez Henry Guenon, ruë S. Jacques, près les Jacobins, l'image S. Bernard. MDCXXXIV.

beaucoup plus développé que le manuscrit publié par M. A. Favaro.

7° Aucune édition italienne des *Méchaniques* ne fut imprimée du vivant de Galilée. C'est seulement en 1649 que le chevalier Luca Danesi fit imprimer, à Ravenne, l'ouvrage intitulé : *Della Scienza Meccanica, e della utilità che si traggono dagl' instrumenti di quella ; opera del Signor* Galileo Galilei, *con uno frammento sopra la forza della percossa* (De la Science Mécanique et de l'utilité que l'on peut tirer de ses instruments ; œuvre du Seigneur Galileo Galilei, avec un fragment sur la force de la percussion).

Cet ouvrage présentait, sous une forme plus développée, tout ce que contenaient les *Méchaniques* traduites par Mersenne.

Toutes les éditions des œuvres de Galilée comprennent ce traité *Della Scienza Meccanica*.

8° En 1632, parut à Florence le célèbre *Dialogo* di Galileo Galilei *delle due massimi Sistemi del Mondo, il Ptolemaico et il Copernicano* (Dialogue de Galileo Galilei sur les deux grands Systèmes du Monde, le système de Ptolémée et le système de Copernic), qui devait, le 22 juin 1633, valoir à son auteur la condamnation du Saint-Office. En la seconde journée de ce Dialogue, Galilée est amené à traiter incidemment des principes de la Statique et, particulièrement, de l'équilibre du levier.

9° Nous avons dit comment, chez les Elzévirs, Conte avait fait imprimer, en quelque sorte par surprise, l'ouvrage qui parut sous ce titre : *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Meccanica, ed ai movimenti locali ; di* Galileo Galilei, *Linceo, filosofo e matematico primario del serenissimo Gran duca di Toscana ; Leida, Elsevirii, 1638* (Discours et démonstrations mathématiques au sujet de deux nouvelles sciences relatives à la Mécanique et aux mouvements locaux, par

Galileo Galilei, membre de l'Académie des *Lincei*, premier philosophe et mathématicien de son altesse sérénissime le Grand duc de Toscane ; Leyde, les Elzévirs, 1638).

Cette édition ne renfermait presque rien qui intéressât la Statique. Dans les éditions des *Discorsi* qui furent publiées plus tard et dont la première fut imprimée à Bologne en 1655, on trouve au contraire deux passages qui ont trait à cette science.

Le premier de ces passages est le *Scholium* adjoint au Théorème II, Proposition II, de la *troisième journée*, scholie où l'interlocuteur Salviati donne la théorie du plan incliné ; ce scholie, dont il sera longuement question au Chapitre XV, fut rédigé par Galilée vers la fin de sa vie et envoyé par lui, le 3 décembre 1639, au P. Castelli, pour être joint à la *giornata terza* des *Discorsi* lorsqu'on en ferait une nouvelle édition.

Le second de ces passages se trouve en la *giornata sesta, della forza della percossa* (sixième journée, de la force de la percussion). Or, la première édition des *Discorsi* contenait seulement les trois premières journées ; tout ce qui suit ces trois journées fut composé par Galilée après 1636 et fut imprimé tout d'abord, par les soins de Viviani, dans la première édition des *Opere di* Galileo Galilei, en 1655.

Au travers des écrits que nous venons d'énumérer, suivons le progrès des doctrines professées en Statique par Galilée.

Dès son premier travail *De Motu*, nous voyons Galilée invoquer l'impossibilité du mouvement perpétuel comme un axiome de Statique ; il en fait usage pour prouver qu'un solide de même densité que l'eau demeurera en équilibre au sein de cette eau. « J'ajoute (1) qu'il ne montera ni ne descendra ; mais, en quelque endroit qu'on le place, il y demeurera. Il n'y a, en effet, aucune raison pour qu'il

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 256.

monte ; comme nous le supposons de même pesanteur que l'eau, dire qu'il descend au sein de l'eau équivaudrait à dire que de l'eau, au sein de l'eau, descend sous l'eau, et que l'eau qui monte au-dessus de celle-ci, descend à son tour ; l'eau continuerait ainsi à descendre et à monter alternativement, *quod inconveniens est.* »

Cette croyance à l'impossibilité du mouvement perpétuel a pu être puisée dans la lecture du *De Subtilitate* de Cardan; elle peut aussi être tirée des axiomes scolastiques selon lesquels le mouvement naturel tend au repos et le mouvement violent va se dissipant ; car ces axiomes, dont l'argumentation de Léonard n'est que le développement et le rajeunissement, Galilée les formulait dans son commentaire au *De Cœlo.*

L'influence de Cardan et, par lui, de Léonard de Vinci se marque plus nettement dans l'interprétation du principe d'Archimède que Galilée répète, avec de menues variantes, dans ses deux rédactions du *De Motu* et dans son dialogue sur le même sujet, qu'il reprendra d'une manière plus détaillée dans son *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua.* Nous aurions à discuter ici cette interprétation, qui constitue une sorte d'application grossière et erronée du principe des déplacements virtuels, si nous ne remettions à une autre occasion l'étude des origines de l'Hydrostatique.

Mais l'influence de Cardan apparaît d'une manière incontestable, lorsque Galilée aborde l'étude du plan incliné ; et, bien que Galilée, dans ses écrits *De Motu*, ne mentionne aucun ouvrage du médecin milanais autre que le *De Subtilitate*, on admettrait difficilement qu'il n'eût pas lu également l'*Opus novum* ; comment pourrait-on, en effet, ne point songer au fragment de l'*Opus novum* que nous avons cité à la fin du Chapitre III, lorsqu'on lit le passage suivant (1) : « Soit *ab* (fig. 69) une ligne menée vers le centre

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 296.

du monde et perpendiculaire au plan horizontal ; soit *be* une ligne tracée dans le plan horizontal ; du point *b*, menons des lignes, en nombre quelconque, *bd*, *bc* qui fassent avec la ligne *be* des angles aigus. On demande pourquoi un mobile qui descend a, selon la ligne *ab*, la chute la plus rapide ; selon *bd*, une chute plus rapide que selon *bc*, mais moins rapide que selon *ba* ; par *bc*, une chute moins rapide que par *bd* ; on demande, en outre, de combien est plus rapide la chute par *ba* que la chute par *bd*, et celle-ci que la chute par *bc*. Pour résoudre ces questions, il nous faut tout d'abord faire cette remarque déjà signalée ci-dessus. Il est manifeste qu'un grave est entraîné vers le bas par

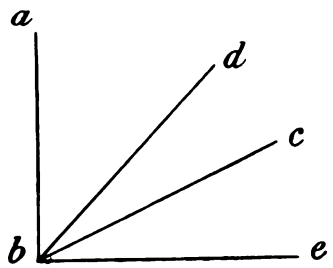

fig. 69.

une force égale à celle qu'il faudrait employer pour le tirer vers le haut ; en d'autres termes, il est entraîné vers le bas par une force égale à la résistance qu'il oppose à la montée. Si donc nous trouvons de combien la force qui tirerait le grave en haut par la ligne *bd* est inférieure à la force qui le tirerait par la ligne *ba*, nous saurons aussitôt de combien la force qui fait tomber le même grave par la ligne *ab* est supérieure à celle qui le fait tomber par la ligne *db*. »

Si Galilée a emprunté à Cardan cette introduction à l'étude du plan incliné, il a de beaucoup surpassé son prédécesseur dans l'analyse du problème ; celui-ci s'était contenté d'une induction qui lui avait fourni une solution

inexacte ; celui-là, par une intuition ingénieuse, parvient à la loi exacte.

Imaginons un poids concentré à l'extrémité d'une droite mobile autour du point *a* (fig. 70) et supposons cette droite amenée en *as* ; le poids se mouvra suivant une circonférence de centre *a* et de rayon *as* ; menons en *s* la tangente *gh* à la circonférence. Au moment où le poids, placé en *s*, commencera à descendre suivant l'arc de cercle qui part de ce point, nous pourrons le traiter comme s'il descendait suivant la tangente *gh* ; en sorte que la force qui ferait descendre le mobile suivant la ligne inclinée *gh* est

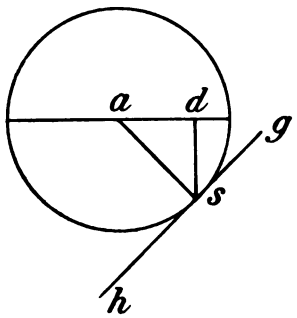

fig. 70.

égale à celle qui tend, à partir du point *s*, à lui faire descendre l'arc de cercle : « Quando mobile (1) erit in puncto *s*, in primo puncto *s* suus descensus erit veluti per lineam *gh* ; quare mobilis per lineam *gh* motus erit secundum gravitatem quam habet mobile in puncto *s*. »

Une fois admise cette audacieuse et féconde intuition, le problème du plan incliné est résolu ; la théorie que Cardan, que Benedetti ont tirée des notes de Léonard de Vinci, ou des manuscrits de son Précurseur, édités par Curtius Trojanus — théorie qu'ils ont exposée dans leurs divers ouvrages — suffit à en achever la solution ; cette théorie

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 297.

nous apprend, en effet, que la force qui sollicite le poids situé en *s* à se mouvoir suivant la circonférence de cercle est proportionnelle à la projection *ad* de la ligne *as* sur l'horizon ; des considérations élémentaires montrent alors que la gravité qui entraîne un mobile sur un plan incliné est à la gravité qui détermine sa chute libre, comme la hauteur du plan est à la longueur de sa ligne de plus grande pente ; en d'autres termes, le rapport de ces deux gravités est le *sinus* de l'angle que le plan fait avec l'horizon.

Le problème du plan incliné, dont Galilée avait ainsi obtenu la solution, était, vers la même époque, l'objet des efforts d'un autre géomètre ; en 1586, Simon Stevin, de Bruges, en publiait également la solution dans ses *Éléments de Statique*. Stevin avait-il précédé Galilée ? l'avait-il suivi ?

Les diverses rédactions du *De Motu* de Galilée ne sont pas datées ; la plus ancienne se place-t-elle, dans le temps, avant ou après les *Beghinselen der Weeghconst ?* Il semble malaisé de décider ce point. Mais, assurément, ni le géomètre de Bruges, ni le géomètre de Florence n'avait connaissance, en poursuivant ses recherches, de la méthode essentiellement différente par laquelle son émule tendait au même but.

A quoi bon, d'ailleurs, s'attarder à trancher cette discussion de priorité ? Nous savons, en effet, que Stevin et Galilée avaient été tous deux devancés, de plus de trois siècles, par le Précurseur de Léonard de Vinci ; que la belle solution obtenue par ce grand géomètre venait d'être publiée dans les cinq éditions des *Quesiti* de Tartaglia et dans le *Jordani de ponderositale* imprimé par Curtius Trojanus.

Nous n'avons pas encore tiré de la lecture du *De Motu* tous les enseignements qu'elle nous peut donner.

Après avoir été franchement péripatéticien, alors qu'il écrivait son commentaire du *De Cœlo*, Galilée maintenant

argumente sans relâche contre la Physique d'Aristote ; il n'en résulte pas qu'il ait tout dépouillé de cette Physique; en particulier, il conserve soigneusement l'axiome fondamental sur lequel repose la Dynamique du Stagirite, la proportionnalité entre la force qui meut un corps et la vitesse qui anime ce corps : « Il faut observer, dit-il (1), que la vitesse ne diffère pas du mouvement ; qui pose le mouvement, pose la vitesse, et la lenteur n'est qu'une moindre vitesse. Donc, ce qui produit le mouvement produit aussi la vitesse ; lors donc que le mouvement provient de la gravité ou de la légèreté, il est nécessaire que la lenteur ou la vitesse aient la même origine ; d'une gravité plus considérable découle une plus grande rapidité du mouvement produit par la gravité du mobile, c'est-à-dire du mouvement vers le bas ; d'une gravité moindre découle une plus grande lenteur du même mouvement. »

Assurément, Galilée n'enseigne plus, comme Aristote, qu'un poids de dix livres tombe dix fois plus vite qu'un poids d'une livre ; il enseigne que dans un même milieu, des poids, grands ou petits, formés d'une même substance, tombent avec la même vitesse. Cette proposition est erronée ; elle n'est nullement adéquate à la loi qu'il proposera dans ses *Discorsi* : « Tous les corps tombent dans le vide avec la même vitesse. » Cette affirmation erronée, Galilée l'a sûrement lue dans l'*Opus novum* de Cardan, qui, comme Taisner, l'avait sans doute empruntée à J.-B. Benedetti ; Galilée a dû aussi la lire dans Benedetti, dont il imite les raisonnements. Mais cette affirmation ne contredit pas l'axiome rappelé plus haut ; si dix livres de plomb tombent avec la même vitesse qu'une livre de plomb dans l'air où elles ont été pesées toutes deux, c'est simplement parce que la force décuple a à mouvoir un corps dix fois plus volumineux. « De là découle, dit

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 260.

Galilée (1), qui reproduit encore en ce point l'opinion de Benedetti, la solution de cette question : Quel est le rapport des vitesses, au sein d'un même milieu, de deux mobiles de même volume, mais de pesanteur différente ? Les vitesses de tels mobiles seront entre elles comme les excès des pesanteurs spécifiques de ces mobiles sur la pesanteur spécifique du milieu. »

Sur deux plans inclinés différents, un même mobile a des poids dont le rapport a été déterminé ; dès lors l'axiome d'Aristote nous fera connaître le rapport des vitesses avec lesquelles ce mobile glissera le long de ces deux plans, car ce sera précisément le rapport de ces deux poids : « Il est donc certain (2) que les vitesses d'un même mobile descendant selon diverses inclinaisons seront inversement proportionnelles aux longueurs des descentes obliques qui correspondent à une même hauteur de chute ».

Ces principes, Galilée s'y tient dans le dialogue *De Motu* qu'il rédigea plus tard. Il y maintient que, dans un même milieu, deux mobiles d'égal volume tombent avec des vitesses qui sont entre elles comme les excès des pesanteurs spécifiques des mobiles sur la pesanteur spécifique du milieu (3), en sorte que, dans le vide, les vitesses de ces mobiles sont entre elles comme leurs pesanteurs spécifiques (4).

L'axiome d'Aristote, dont nous voyons Galilée si fortement pénétré en ses premiers écrits sur le mouvement, va guider toutes ses recherches de Statique et en faire le défenseur des idées qu'a émises le philosophe de Stagire, qu'ont développées Léonard de Vinci et Cardan. Cet axiome, en particulier, va lui inspirer une notion qui

(1) *Le Opere di* Galileo Galilei, Florence, 1890, vol. I, p. 272. — Cf. *Ibid.*, p. 296.
(2) *Ibid.*, p. 301.
(3) *Ibid.*, p. 401.
(4) *Ibid.*, pp. 401 et 402.

joue, en toute sa Mécanique, un rôle essentiel, la notion de *momento* (1).

Une même puissance qui peut mouvoir un grave avec une certaine vitesse, peut, selon l'axiome d'Aristote, mouvoir un corps deux fois plus lourd, mais avec une vitesse deux fois moindre ; ce qui caractérise cette puissance, ce n'est donc ni la grandeur du grave qu'elle met en branle, ni la vitesse qu'elle lui communique ; c'est le produit de ces deux facteurs ; pour une même puissance chacun des deux facteurs peut varier ; le produit seul est déterminé ; c'est ce produit qui va constituer le *momento* de cette puissance.

C'est au début du *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono*, discours qui offre encore tant d'affinités avec les divers écrits *De Motu*, que Galilée, en 1612, définit pour la première fois le *momento* ; il a soin, d'ailleurs, de marquer les liens qui unissent cette notion à la Statique péripatéticienne.

« J'emprunte, dit-il, deux principes à la Science mécanique ; le premier est celui-ci : Deux poids absolument égaux, mûs avec des vitesses égales, sont de même puissance ou de même *momento* dans toutes leurs opérations.

» Pour les mécaniciens, *momento* signifie cette vertu, cette action, cette puissance efficace, par laquelle le moteur meut et le mobile résiste ; cette vertu ne dépend pas seulement de la simple gravité, mais de la vitesse du mouvement, des inclinaisons diverses des espaces en lesquels le mouvement se produit ; un grave, en effet, produit un *impeto* (2) plus grand lorsqu'il descend sur une

(1) J'évite à dessein de traduire ce mot de *momento* en français, car le mot *moment* désigne maintenant, en Mécanique, une notion hétérogène au *momento* ; le *moment*, produit d'une force par une longueur, n'est pas, quoi qu'en dise Lagrange (*Mécanique analytique*, Première Partie, Section I, no 4), un cas particulier du *momento*, produit d'une force par une vitesse.

(2) Ce mot a ici le même sens que chez Léonard de Vinci ; ce sens est à peu près celui du mot *force vive* chez Leibniz.

surface très déclive que lorsqu'il descend sur une surface qui l'est moins ; quelle que soit, en somme, la raison d'une telle vertu, elle garde toujours le nom de *momento* ; et il ne me paraît pas que ce sens du mot *momento* soit nouveau en notre langue ; car, si je ne me trompe, il nous arrive fréquemment de dire : Cette affaire-ci est bien grave, mais cette autre est de faible *momento* (1) ; ou bien : Nous considérons une chose légère et nous négligeons celles qui sont de *momento* ; ce sont des métaphores empruntées à la Mécanique.

» Le second principe est que la puissance de la gravité croît avec la vitesse de la chose mue ; en sorte que des poids absolument égaux, mais animés de vitesses inégales, ont des puissances, des *momenti*, des vertus inégales ; le plus puissant est celui qui est le plus rapide et cela, dans le rapport de sa vitesse à la vitesse qui anime l'autre poids. De ce principe, nous trouvons un exemple très approprié dans la balance, ou dans la romaine, lorsque les bras du fléau sont inégaux ; des poids absolument égaux, suspendus à ces bras, ne pressent pas également, n'exercent pas des actions égales ; celui qui est à une plus grande distance du centre autour duquel se meut la balance, soulevant l'autre, le mouvement de celui-ci est lent, le mouvement de celui-là est rapide ; et telle est la puissance et la vertu que la vitesse du mouvement donne au mobile, qu'elle peut être compensée exactement en accroissant d'un poids équivalent le mobile plus lent...

» Une telle compensation entre la gravité et la vitesse se retrouve dans tous les instruments mécaniques ; Aristote l'a prise pour principe dans les *Questions mécaniques* ; d'où nous pouvons prendre pour très vraie cette affirmation que deux poids de grandeur inégale s'équilibrent réciproquement et possèdent des *momenti* égaux, toutes les fois que leurs gravités sont en raison inverse des

(1) *Momento* a, ici, le même sens qu'en latin *momentum*, importance.

vitesses de leur mouvement; ou, en d'autres termes, toutes les fois que le plus léger est disposé de telle sorte que sa vitesse soit à celle du plus lourd comme le poids de celui-ci est au poids de celui-là. »

La seconde journée (1) du *Dialogue sur les deux grands Systèmes du Monde* renferme des allusions à la Statique ; Galilée y traite du principe aristotélicien que l'interlocuteur Salviati énonce ainsi : « La vitesse d'un mobile moins pesant compense la gravité du mobile plus pesant et moins rapide : *La velocità del mobile meno grave compensa la gravità del mobile piu grave, e meno veloce.* » La romaine sert d'exemple à ce principe qui est développé à peu près dans les mêmes termes qu'au *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua.*

Les *Méchaniques* de Galilée ne furent révélées au grand nombre des géomètres que par la traduction de Mersenne, imprimée en 1634 ; mais cet ouvrage était assurément beaucoup plus ancien ; nous le savons par le témoignage même de Galilée; en 1639, il rédigea un passage dialogué, destiné à être inséré dans les *Discorsi*, et qui y fut en effet inséré lorsqu'on publia, en 1655, la première édition de ses œuvres ; dans ce passage (2), l'interlocuteur Salviati, faisant allusion au traité *Della Scienza Meccanica*, le désigne comme « un antique traité des mécaniques, écrit autrefois par notre Académicien, à Padoue, pour le seul usage de ses élèves ».

Grâce à M. Favaro, nous connaissons aujourd'hui le texte des leçons *Sur les Méchaniques* (3) qui furent professées par Galilée, à Padoue, en 1594. Ce texte, très concis, est beaucoup moins riche en considérations sur les principes de la Statique que les ouvrages dont nous avons

(1) *Dialogo delle due massimi Sistemi del Mondo*, giornata secunda.
(2) Galileo Galilei, *Discorsi*..., giornata terza, Theor. II, Prop. II, Scholium.
(3) *Delle Meccaniche lette in Padova l'anno 1594* da Galileo Galilei... (MEMORIE DEL R. ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI, vol XXVI, n° 5, 1899).

déjà parlé. Traitant du levier, Galilée remarque très brièvement (1) qu'au moyen de cet instrument, « ce que l'on acquiert en facilité, on le perd en espace, en temps, en lenteur ; et qu'il en est de même en tous les autres instruments qui ont été fabriqués ou qui pourront être imaginés ». Le cabestan (2) et le treuil (3) lui donnent occasion de répéter la même observation ; il la reprend encore au sujet des moufles (4) et des engrenages (5).

La notion de *momento* ne se trouve point définie dans le *Delle Meccaniche ;* le mot y est cependant employé. Galilée remarque que la puissance qui soutient un poids au moyen d'un levier ne suffit pas à le soulever ; « mais, ajoute-t-il (6), comme tout *momento*, si petit soit-il, qui s'adjoint à la puissance qui fait contrepoids suffit à mettre le poids en mouvement, nous ne tiendrons pas compte de ce *momento* insensible... »

C'est pour donner la théorie de la vis que Galilée, dans son *Delle Meccaniche*, est conduit à user de la théorie du plan incliné (7) ; d'ailleurs, il n'y insiste point : « Tout ce que nous avons dit, écrit-il, est manifeste par la lumière naturelle et par l'expérience ; mais si nous voulions déterminer d'une manière démonstrative le rapport de la force au poids qu'elle peut mouvoir sur des plans diversement inclinés, nous aurions affaire à une spéculation un peu plus difficile ; nous l'omettrons donc ici, et nous nous contenterons d'en connaître la conclusion... » Cependant, en terminant cette étude de la vis, le grand géomètre fait observer (8) que si cet instrument permet d'élever un grand poids avec peu de fatigue, c'est que la

(1) *Delle meccaniche...*, Capº 5.
(2) *Ibid.*, Capº 8.
(3) *Ibid.*, Capº 9.
(4) *Ibid.*, Capº 15.
(5) *Ibid.*, Capº 16.
(6) *Ibid.*, Capº 15.
(7) *Ibid.*, Capº 12.
(8) *Ibid.*, Capº 13.

puissance a parcouru le long chemin représenté par l'hélice, tandis que le poids a gravi seulement la hauteur du cylindre. La remarque avait déjà été faite par Cardan et par Guido Ubaldo ; il eût été bien facile d'en tirer la théorie du plan incliné que Galilée donnera plus tard, reproduisant presque exactement les raisonnements du Précurseur de Léonard.

Ce n'est pas, assurément, au *Delle Meccaniche*, exhumé par M. Favaro, que Salviati faisait allusion ; il citait, en effet, ces leçons à propos de la théorie du plan incliné qui, disait-il, « y était démontrée d'une manière détaillée et concluante en vue de considérer l'origine et la nature du merveilleux instrument qu'est la vis ». Ces paroles ne sauraient s'appliquer au *Delle Meccaniche*, si concis, que nous venons d'analyser ; elles visent sans doute quelque rédaction, plus complète, composée ultérieurement par Galilée.

C'est d'une telle rédaction que le P. Mersenne publia, en 1634, la traduction française ; c'en est une autre, encore plus développée, qui fut imprimée en 1649, à Ravenne, par les soins de Luca Danesi ; à l'une comme à l'autre convient l'allusion de Salviati, car l'une et l'autre traitent avec détail du plan incliné.

On peut supposer que ces rédactions ont suivi de près le *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua ;* nous y retrouvons, en effet, parmi les définitions, celle du *momento ; Les Méchaniques* et le traité *Della Scienza Meccanica* la donnent à peu près dans les mêmes termes, et ces termes sont également ceux dont usait l'écrit sur les corps flottants, imprimé en 1612.

« Le *moment* est l'inclination du mesme corps (1), lorsqu'elle n'est pas seulement considérée dans ledit corps, mais conjoinctement avec la situation qu'il a sur le bras d'un levier, ou d'une balance ; et cette situation fait qu'il

(1) *Les Méchaniques de Galilée*, p. 7.

contrepèse souvent à un plus grand poids, à raison de sa plus grande distance d'avec le centre de la balance. Car cet éloignement estant joint à la propre pesanteur du corps pesant, luy donne une plus forte inclination à descendre ; de sorte que cette inclination est composée de la pesanteur absoluë du corps, et de l'éloignement du centre de la balance, ou de l'appuy du levier. Nous appellerons donc tousjours cette inclination composée, *moment*, qui répond au ῥοπὴ des Grecs. »

En fait, la notion de moment, ainsi présentée, a plus d'une analogie avec ce qu'Aristote et ses commentateurs nomment δύναμις ou ἰσχύς, avec ce que les traducteurs latins des fragments mécaniques attribués à Euclide nomment *virtus* ou *fortitudo*. Visiblement, la notion de *momento*, telle qu'elle est conçue par Galilée, est une idée tout imprégnée encore de Physique péripatéticienne.

Pour justifier l'introduction de cette notion, Galilée ne se contente plus de renvoyer à la Dynamique péripatéticienne ; il développe un raisonnement direct qui semble ne faire appel qu'à des affirmations évidentes ; mais au fond de ce raisonnement, se cache un postulat qui n'est autre que l'axiome d'Aristote.

« Que l'on considère, dit-il (1), une résistance arbitrairement déterminée, une force limitée quelconque, et une distance fixée comme l'on voudra ; on peut, sans aucun doute, au moyen de la force donnée, transporter le poids donné à la distance donnée, et cela lors même que la force donnée serait extrêmement petite ; il suffit pour cela de diviser le poids en un grand nombre de parcelles, de telle sorte qu'aucune de ces parcelles ne soit supérieure à la force dont on dispose, et de transporter ces parcelles une à une ; on aura finalement mené le poids tout entier au terme que l'on s'était assigné. Dès lors, à la fin de l'opé-

(1) Cette citation est tirée du traité *Della Scienza Meccanica* ; les mêmes considérations se trouvent, sous une forme un peu moins développée, dans *Les Méchaniques*.

ration, on pourra dire avec raison qu'un grand poids a été mû et transporté par une force moindre que lui ; mais la force aura réitéré à plusieurs reprises le mouvement, et parcouru le trajet que le poids considéré, pris dans son ensemble, aura parcouru une seule fois. On voit par là que la vitesse de la force surpasse celle du poids autant de fois que le poids surpasse la force ; en effet, pendant le temps qu'il a fallu à la force mouvante pour parcourir à plusieurs reprises l'intervalle qui sépare les deux termes du mouvement, le mobile n'a franchi qu'une seule fois cet intervalle. Par conséquent, on ne doit pas dire qu'il est hors nature qu'une grande résistance soit surmontée par une petite force ; dans le cas seulement où une petite force transporterait une grande résistance de telle sorte que force et résistance cheminent avec la même vitesse, on pourrait déclarer que les lois de la nature sont surpassées ; mais nous affirmons qu'un tel transport est impossible à effectuer avec aucune machine réalisée jusqu'ici ou réalisable dans l'avenir.

» Il arrive parfois que nous disposions de peu de force et que nous ayons cependant besoin de transporter un grand poids d'un seul bloc et sans le subdiviser en poids plus petits. Dans ce cas, il ne faudra pas que notre force parcoure le même chemin que le poids ; il faudra qu'elle parcoure un chemin qui surpasse le trajet du poids autant de fois que le poids surpasse la force. A la fin d'une telle opération, nous trouverons que le seul bénéfice que nous ayons tiré de l'emploi de la machine est d'avoir pu transporter d'un seul bloc le poids donné, au moyen de la force donnée, à la distance qui nous était assignée. Mais sans machine, et à la seule condition de le diviser en plusieurs parties, nous aurions pu transporter le même poids, avec la même force, dans le même temps et à la même distance. C'est là l'un des services que l'on peut attendre du mécanicien ; car il arrive fréquemment qu'ayant disette de force, mais non de temps, on parvient à mouvoir un grand

poids en bloc. Mais celui qui, à l'aide de machines, espère produire le même effet sans diminuer la vitesse du mobile, et qui tente d'y parvenir, celui-là, certainement, sera déçu ; il prouvera qu'il n'entend rien à la puissance des instruments mécaniques et aux raisons de leurs effets. »

Ce raisonnement de Galilée — est-il besoin de le dire ? — n'est rien moins que rigoureux ; il ne découle point d'une exacte Dynamique ; il donne, en effet, cette conséquence immédiate : La force qui meut un poids donné, en un espace donné, dans un temps donné, meut un poids dix fois plus grand, en un même espace, dans un temps dix fois plus long ; et cette conséquence n'est autre que l'antique axiome d'Aristote, émanation d'une Dynamique où l'on ne distingue pas entre le poids et la masse, et où la vitesse est supposée proportionnelle à la force.

C'est donc à l'ancienne Dynamique que se rattache l'écrit *Della Scienza Meccanica*, à celle que Léonard de Vinci et Cardan ont tirée de la Φυσικὴ ἀκρόασις, du Περὶ οὐρανοῦ ou des Μηχανικὰ προβλήματα ; celui que l'on regarde comme le créateur de la Dynamique nouvelle n'est point encore en possession des principes qui distinguent cette science de la Mécanique péripatéticienne ; ces principes seront, en réalité, trouvés par d'autres que lui ; il ne les connaîtra jamais.

L'équilibre du levier ou de la romaine fournit à Galilée un premier exemple des considérations générales par lesquelles il a débuté. Il montre que si l'on déplace un levier où les charges sont en raison inverse des bras, les vitesses de ces charges seront en raison inverse de leurs poids, et il ajoute : « Ce n'est point merveille ni contradiction aux lois de la nature si la vitesse avec laquelle se meut le grave B compense la plus grande résistance du poids A. » En terminant, il observe que le rôle du levier consiste bien à transporter une grande résistance, sans la diviser, mais avec lenteur, au moyen d'une petite puissance qui se déplace rapidement. L'étude du treuil, du cabestan, des

poulies et des moufles lui donne occasion de reprendre des considérations semblables.

Chemin faisant, il rencontre, comme tous ses prédécesseurs, la notion de *moment*, prise au sens que les modernes donnent à ce mot ; voici en quels termes très brefs il l'introduit : « Le poids suspendu au point D (fig. 71) produit une impulsion selon la ligne DF ; quand il était suspendu au point B, il produisait une impulsion suivant la ligne BH... Finalement, on doit faire attention à mesurer la distance suivant la ligne qui coupe à angle droit

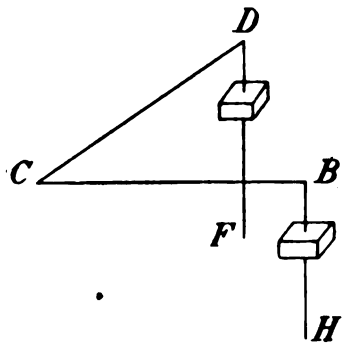

fig. 71.

celle selon laquelle le grave est suspendu et selon laquelle il tomberait s'il se mouvait librement. »

Galilée aurait pu rattacher cette notion de *moment* à ses principes généraux ; il lui aurait suffi d'observer que le *momento* d'un grave doit être pris proportionnel non pas à la vitesse totale de son mouvement, mais seulement à sa vitesse de chute ; il eût trouvé que le *momento* est proportionnel au *moment ;* il n'a point fait ici ce rapprochement, que Cardan avait cependant donné dans le *De Subtilitate* ; en revanche, de ce principe, clairement posé par Cardan, il va faire usage dans la théorie du plan incliné, où le médecin milanais n'avait pas songé à l'employer.

C'est comme préliminaire à l'étude de la vis que Galilée

aborde, dans *Les Méchaniques* et dans le traité *Della Scienza Meccanica*, la théorie du plan incliné. Il reproduit d'abord tout ce qu'il en avait dit dans son ancien traité *De Motu* ; puis, dans le *Della Scienza Meccanica*, il ajoute ce passage, que contiennent également *Les Méchaniques*, sous une forme peu différente :

« En terminant, ne passons point sous silence la considération suivante : dès le principe, nous avons dit que nécessairement, en tout instrument mécanique, autant la force était accrue par l'intermédiaire de cet instrument,

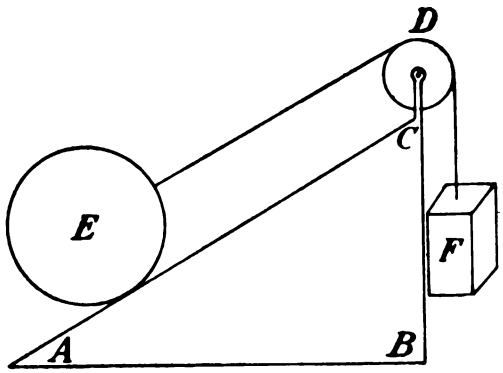

fig. 72.

autant, en revanche, on perdait de temps ou de vitesse. Il pourrait sembler à quelqu'un que cette proposition n'est ni manifeste, ni vraie, dans le cas que nous étudions ; il pourrait lui sembler que la force est, ici, multipliée sans que le moteur fasse un plus long voyage que le mobile. Imaginons donc que, dans le triangle ABC (fig. 72), la ligne AB représente le plan horizontal ; la ligne AC, le plan incliné, dont la hauteur sera mesurée par la perpendiculaire CB ; sur le plan AC, est posé un mobile E qui est attaché à la corde EDF ; celle-ci porte en F une force ou un poids qui est à la gravité du poids E dans le même rapport que la ligne BC à la ligne CA ; si le poids F vient à descendre,

tirant le mobile E sur le plan incliné, le mobile E parcourra suivant la ligne AC un chemin égal à celui que le grave F décrit dans sa chute. Mais il faut observer ceci : Il est vrai que le mobile E aura parcouru toute la ligne AC dans le temps que le poids F aura mis à s'abaisser d'une égale longueur; mais, pendant ce temps, le mobile E ne se sera pas éloigné du centre commun des choses graves d'une longueur supérieure à la verticale BC, tandis que le poids F, descendant selon la verticale, se sera abaissé d'une longueur égale à toute la ligne AC. Or les graves ne résistent à un mouvement oblique que dans la mesure où ils s'écartent du centre de la terre... Nous pouvons donc dire à juste titre que le voyage de la force F garde au voyage de la force E le même rapport que la longueur AC à la longueur CB, partant que le poids E au poids F.»

La première édition des *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Meccanica ed ai movimenti locali*, celle dont la rédaction fut terminée par Galilée en 1636 et l'impression achevée par les Elzévirs en 1638, renfermait peu d'innovations intéressant la Statique. Une élégante démonstration de la loi d'équilibre du levier était exposée en la *giornata prima* ; mais elle ressemblait de très près à la démonstration que Simon Stevin avait donnée depuis quarante ans et qui avait été publiée déjà deux fois en flamand, une fois en latin et une fois en français ; en cette démonstration, d'ailleurs, Galilée, comme Stevin, avait simplement fait usage du principe, si connu dès le moyen âge, d'où se tire la théorie de la balance romaine ; de plus, comme nous le verrons au prochain Chapitre, une démonstration toute semblable était connue dès le XIIIe siècle.

La troisième journée (*giornata terza*) des *Discorsi*, consacrée au *mouvement local*, renfermait une proposition essentielle au développement de la nouvelle Dynamique ; cette proposition affirmait l'égalité des vitesses acquises par les corps pesants en descendant d'une même hauteur

sur des plans diversement inclinés ; en la première édition des *Discorsi*, cette égalité était supposée, elle n'était pas démontrée.

En des circonstances qui seront relatées au Chapitre XV, Galilée chercha à étayer cette proposition de solides arguments ; il en composa une démonstration ; sous le titre de *Scholium*, elle fut adjointe à la proposition considérée, lorsqu'en 1655 on réunit pour la première fois les œuvres du grand géomètre.

Au début de ce scholie, l'interlocuteur Salviati s'exprime en ces termes : « Je regarderai, en premier lieu, comme un effet très connu que les *momenti* ou les vitesses d'un même mobile sont différentes sur des plans diversement inclinés, que la plus grande vitesse correspond à la chute suivant la verticale, et que, sur un plan incliné, cette vitesse diminue d'autant plus que le plan est plus éloigné d'être vertical, ... ; en sorte que l'impétuosité, la capacité, l'énergie, ou ce que nous nommerons le *momento* de la chute diminue en ce mobile au fur et à mesure que le plan sous-jacent, sur lequel il s'appuie, s'abaisse. »

Pour évaluer cette variation d'impétuosité, Salviati déclare qu'il s'en réfère « à un antique traité des mécaniques, qui fut autrefois écrit à Padoue par notre Académicien pour le seul usage de ses élèves », c'est-à-dire au *Della Scienza Meccanica* de Galilée. Il énonce, en effet, d'après ce traité, que le *momento* d'un grave descendant un plan incliné est à son *momento* en chute libre, comme la hauteur du plan est à la longueur de la ligne de plus grande pente ; et de cette proposition, il tire la démonstration cherchée.

Salviati termine en affirmant que « pour assurer l'équilibre, c'est-à-dire le repos, entre les deux mobiles qu'il a considérés, il est nécessaire que leurs *momenti*, leurs vitesses, ou leurs propensions au mouvement, c'est-à-dire les espaces qu'ils franchiraient dans un même temps, soient dans le rapport inverse de leur gravité ; selon la

loi générale que prouvent tous les mouvements mécaniques ».

Dans les longues additions aux *Discorsi* que Galilée avait rédigées et qui virent le jour seulement après sa mort, le passage que nous venons de citer n'est pas le seul qui concerne le plan incliné ; on en trouve un autre en la *giornata sesta, della forza della percossa ;* ce dernier reproduit fidèlement la pensée, sinon les termes, d'un fragment du traité *Della Scienza Meccanica*, rapporté plus haut.

Les divers passages des *Discorsi* que nous venons d'analyser n'ont apporté aux progrès de la Statique aucune contribution nouvelle ; leur intérêt est ailleurs.

Si l'on en croit la plupart des historiens de la Mécanique, Galilée, dans les *Discorsi*, a renversé de fond en comble les bases de la Dynamique péripatéticienne pour élever, sur des fondements nouveaux, la Dynamique moderne ; or, en ces mêmes *Discorsi*, il emprunte un lemme à une Statique qui prend pour principe l'axiome d'Aristote ; et ce lemme n'a pas pour but de prouver quelque théorème accessoire et peu important ; il a pour objet la démonstration d'une proposition que Galilée regarde, comme « le *théorème essentialissime* (1) pour l'établissement de la science du mouvement proposée par lui ». Sans doute, dans les considérations relatives au plan incliné que renferment les *Discorsi*, l'axiome d'Aristote n'est pas explicitement énoncé, mais rien non plus n'indique qu'il le faille rejeter ; les démonstrations du traité *Della Scienza Meccanica* y sont considérées comme des démonstrations détaillées et concluantes «... che in un antico trattato di meccaniche scritto già in Padova dal nostro Accademico sol per uso dè suoi discepoli fu diffusamente, e concludentemente dimostrato...» ; et ces démonstrations sont tirées

(1) Galileo Galilei, *Lettere al P. Ab. D. Benedetti Castelli*, 3 décembre 1639 ; reproduite dans toutes les éditions des œuvres de Galilée.

d'un principe équivalent à l'axiome d'Aristote ; enfin il y est répété à plusieurs reprises qu'un même grave, en diverses circonstances, a des *momenti* proportionnels aux vitesses qui l'animent en ces mêmes circonstances. Que peut-on conclure de ces remarques, sinon qu'au moment même où, selon maint historien, Galilée créait la Dynamique nouvelle, le grand géomètre continuait à relier ses déductions à l'ancienne Dynamique, à celle qu'Aristote avait professée, que l'École avait commentée, dont Léonard de Vinci, puis Cardan avaient tiré tant d'importantes conséquences? Jamais Galilée n'a cessé de croire à l'axiome péripatéticien qui proclamait la proportionnalité entre la force et la vitesse ; l'opinion qui en fait le créateur de la Dynamique moderne est une légende controuvée.

D'ailleurs, la Statique de Galilée ne mérite peut-être pas tous les éloges que lui prodiguent habituellement les historiens ; une bonne part de ces éloges reviendrait légitimement à des géomètres plus anciens ; il est peu de choses, en cette Statique, qui ne se trouvent déjà dans les écrits de Cardan, nourris eux-mêmes des pensées inédites de Léonard de Vinci ; en fait, si l'on cherche par quoi la Statique de Galilée surpasse celle de Cardan, on ne trouve qu'un seul progrès essentiel : la solution du problème du plan incliné. Mais, de ce problème, la solution avait été donnée dès le XIIIe siècle ; des deux démonstrations par lesquelles Galilée la justifie, l'une est une application presque immédiate de la notion de gravité *secundum situm* de Jordanus et du lien que Cardan a établi entre cette notion et celle de moment ; l'autre, la plus satisfaisante, reproduit purement et simplement le raisonnement donné, au moyen-âge, par le Précurseur de Léonard de Vinci.

Or, comment admettre que Galilée ait ignoré l'œuvre de ce grand géomètre inconnu ? Les cinq éditions des *Quesiti et inventioni diverse* de Tartaglia, le recueil des *Opere* du même auteur, le *Jordani opusculum de ponde-*

rositate, imprimé par Curtius Trojanus, l'ont publiée à sept différentes reprises. Cardan, Guido Ubaldo, Benedetti ont critiqué cette œuvre, qu'ils attribuent à Jordanus. Cette œuvre, enfin, est lue par les disciples de Galilée ; l'un d'eux, Bardi, écrit (1), à propos de la pesanteur spécifique: « Gravitas de qua hic agitur ea est quam nonnulli a pondere distinguunt, Galileus vero cum Jordano gravitatem in specie appellat ». Cette allusion à Jordanus, Thurot (2) l'a fort justement remarqué, s'applique en fait au petit traité sur les pesanteurs spécifiques que certains manuscrits attribuent à tort à Archimède et que Curtius Trojanus a joint, sans nom d'auteur, au *Jordani opusculum de ponderositate*. On connaissait donc, dans l'entourage même de Galilée, cet écrit fort ancien dont la Statique passe, en certains points, tout ce qu'a donné, sur le même sujet, le géomètre florentin.

(1) *Eorum quæ vehuntur in aquis experimenta* a Joanne Bardio Florentino *ad Archimedis trutinam examinata*. Romae, 1614.

(2) Thurot, *Recherches historiques sur le principe d'Archimède* (REVUE ARCHÉOLOGIQUE, nouvelle série, t. XIX, 1869, p. 117).

CHAPITRE XII

SIMON STEVIN
(1548-1620)

Dès l'antiquité, les physiciens qui ont abordé les problèmes de l'équilibre les ont attaqués par deux méthodes bien distinctes.

Aristote, moins géomètre que philosophe, ne voit dans l'équilibre qu'un cas particulier du mouvement ; la Statique n'est point une science autonome, ayant ses principes indépendants ; elle n'est qu'un chapitre de la Dynamique ; ses propositions se doivent tirer des lois générales qui dominent le mouvement local.

Archimède, plus géomètre que philosophe, dirige les efforts de son puissant génie moins à la pénétration profonde de la nature des choses qu'à l'enchaînement rigoureux de propositions, toutes déduites d'axiomes clairs et incontestables.

Or, l'étude du mouvement est trop peu avancée à l'époque d'Archimède — et peut-être encore à notre époque — pour qu'on y puisse trouver de ces propositions auxquelles l'expérience de chaque jour confère une évidence qui exclut toute contradiction. On peut, au contraire, dans l'étude de l'équilibre, trouver de semblables propositions. Ce sont elles qu'Archimède postule, dont il fait les hypothèses sur lesquelles il fonde la Statique, devenue science autonome.

Ces deux courants distincts, on les peut reconnaître au cours de tout le développement de la Statique ; tantôt les progrès de cette science sont promus par la méthode d'Aristote, tantôt ils sont achevés par la méthode d'Archimède.

C'est à la doctrine du Philosophe de Stagire que se rattache presque exclusivement l'évolution dont nous

venons de retracer l'histoire ; les lois de la Statique qui vont se généralisant et se précisant à travers les écrits de Jordanus de Nemore, du Précurseur de Léonard, de Léonard de Vinci, de Cardan et de Galilée sont issues des germes que renfermaient les Μηχανικὰ προβλήματα.

Il suffit, au contraire, de feuilleter la Statique (1) de Simon Stevin pour reconnaître, dans le géomètre de Bruges, un fidèle disciple du géomètre de Syracuse.

Simon Stevin naquit à Bruges en 1548. Il fut, pendant quelque temps, teneur de livres et caissier à Anvers ; plus tard, il obtint un emploi dans l'administration des finances du Franc de Bruges. La franchise des droits sur la bière lui ayant été refusée, il quitta sa patrie ; nous savons qu'en 1571, il ne l'habitait déjà plus. Il visita la Prusse, la Pologne, la Suède et la Norvège, puis vint s'établir dans les Pays-Bas septentrionaux, où il passa le reste de sa vie. Dès 1581, il demeurait à Leyde ; en 1582, il y publiait son premier ouvrage ; le 16 février 1583, il se faisait inscrire comme étudiant ès lettres à l'Université

(1) La Statique de Stevin parut d'abord en flamand sous le titre : *De Beghinselen der Weeghconst*, beschreven dver Simon Stevin van Brugghe. Tot Leyden, inde Druckerye van Christoffel Plantijn, bij Françoys van Raphelinghen. MDLXXXVI. Elle était divisée en deux parties, dont l'une traitait des principes généraux de la Statique et l'autre de la recherche des centres de gravité. Deux autres écrits y étaient joints : l'un, intitulé *De Weeghdaet*, traitait des applications de la Statique ; l'autre, *De Beghinselen des Waterwichts*, exposait l'Hydrostatique.

Plus tard, Simon Stevin publia, en flamand, toutes ses œuvres mathématiques sous le titre : *Wisconstige Gedachtenissen*, inhoudende t'ghene daerhem in gheoeffent heeft den Doorlvchtichsten Hoochgheboren Vorst ende Heere, Mavrits Prince van Orengien, Grave van Nassau, ..., Beschreven deur Simon Stevin van Brugghe. Tot Leyden, inde Druckerye van Ian Bouvvensz, Int Iaer MDCVIII.

Le deuxième volume de cette collection, intitulé : *Vierde Stvck der wisconstighe Ghedachtnissen vande Weeghconst*. Tot Leyden, bij Jan Bouwensz, Anno MDCV, contient la Statique. Les quatre premiers livres reproduisent la Statique publiée en 1586. Stevin y a joint un cinquième livre, *Vanden Anwang der Waterwichtdaet*, sur les applications de l'Hydrostatique ; un appendice, intitulé : *Anhang der Weeghconst*, inde welcke onder anderen vveerleyt vvorden ettlicke dvvalinghen der wichtige ghedaenten ; enfin une sorte de supplément nommé *Byvorgh der Weeghconst*. Ce supplément contient quatre parties, dont la première, *Van het Tavvicht*,

de cette ville. En 1590, il quitta Leyde pour Delft, puis pour La Haye. Sa réputation scientifique était considérable. Il devint professeur de mathématiques et intendant des finances du Prince Maurice de Nassau, inspecteur des digues, quartier-maître général de l'armée des États. Il mourut en 1620.

La Mécanique de Stevin, avons-nous dit, n'est nullement celle d'un philosophe; elle est avant tout une œuvre de géomètre. La prédilection de Stevin pour la méthode, si belle dans sa sobriété et sa rigoureuse précision, qu'Archimède tenait de son maître Euclide, apparaît dès l'abord en la savante ordonnance de la *Statique* composée par l'illustre Flamand. C'est avec une minutieuse régularité qu'il range les définitions, les déclarations, les postulats, les propositions, les exemples à la place que leur assignent les lois de la logique déductive ; plus encore qu'Euclide et Archimède, Stevin s'efforce de mettre à nu l'ossature du

est consacrée à la Spartostatique (équilibre des fils) et la seconde, *Vant Catrolwicht*, est consacrée à la Trochléostatique ou équilibre des poulies.

La collection dont nous venons de parler fut, en même temps, traduite en latin par Willebrordus Snellius et publiée sous le titre : *Hypomnemata mathematica*. La partie qui nous intéresse est ainsi désignée : *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, quo comprehenduntur ea in quibus se exercuit Illustrissimus illustrissimo atque antiquissimo stemmate ortus Princeps, ac Dominus, Mauritius Princeps Auraicus, comes Nassoviæ,... conscriptus a Simone Stevino, Brugensi, Lugodini Batavorum, ex officina Joannis Patii ; Anno MDCV.

Enfin, cette collection fut traduite en français sous le titre : *Œuvres mathématiques* de Simon Stevin de Bruges, ou sont inserées les Memoires mathematiques esquelles s'est exercé le Tres-haut et Tres-illustre Prince Maurice de Nassau, Prince d'Aurenge, Gouverneur des Provinces des Païs-bas unis, General par Mer et par Terre, etc. Le tout reveu, corrigé et augmenté par Albert Girard Samielois, Mathematicien. A Leyde, chez Bonaventure et Abraham Elsevier, Imprimeurs ordinaires de l'Université. Anno MDCXXXIV. Quatriesme volume traitant de l'art pondéraire ou de la Statique.

Une autre traduction française, due à J. Tuning, et publiée à Leyde en 1608, ne renfermait pas la Statique.

Pour plus de détails, voir, dans la BIBLIOTHECA BELGICA, la *Bibliographie des œuvres de Simon Stevin* par M. Ferdinand Vanderhaegen. Cet écrit nous a fourni également les renseignements biographiques que nous donnons dans le texte.

raisonnement, afin que l'on en distingue tous les membres, que l'on voie le jeu de chaque articulation.

Si la forme même de ses écrits nous montre en Stevin un fervent disciple d'Archimède, son propre aveu nous assure qu'il repoussait de toutes ses forces la méthode employée en Statique par Aristote et par Cardan.

Cet aveu transparaissait déjà, dès la première édition de sa Statique, dans l'avis au lecteur qui ouvrait le livre consacré à la pratique (1) ; il se manifeste pleinement dans un Appendice (2) rédigé par Stevin pour la seconde édition de sa Statique.

A l'aspect de la foule des erreurs qui ont cours en Statique, Stevin se sent le désir et le pouvoir d'infliger à cette armée d'ennemis de la vérité une défaite de Marathon (3) ; mais il préfère condenser en deux propositions l'essence même de toutes ces hérésies, et réfuter en deux Chapitres ces deux propositions.

Le premier de ces Chapitres (4) est dirigé contre l'idée fondamentale des Μηχανικὰ προβλήματα : *La cause de l'équilibre du levier*, dit le titre, *ne réside point dans les arcs de cercle que décrivent ses extrémités*. « Que des poids égaux, suspendus à des bras de levier égaux, se fassent équilibre, le sens commun suffit à nous l'enseigner. Mais que des poids inégaux, suspendus à des bras de levier inégaux, soient en équilibre lorsque ces poids sont inversement proportionnels aux bras qui les portent, la cause n'en est pas aussi évidente. Cette cause, les anciens ont pensé qu'elle résidait dans les arcs de cercle décrits par les extrémités du levier ; on peut voir cette opinion dans *Les Mécaniques* d'Aristote et dans les écrits de ses parti-

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, p. 81 ; Liber tertius, de Staticæ praxi ; ad Lectorem.

(2) Simon Stevin, *Ibid.*, p. 150 ; Appendix Statices, ubi inter alia errores quidam Στατικῶν ἰδιωμάτων refelluntur.

(3) Simon Stevin, *Ibid.*, p. 150 ; ad Lectorem.

(4) Simon Stevin, *Ibid.*, p. 151 ; Caput I : Causam aequilibritatis situs non esse in circulis ab extremitatibus radiorum descriptis.

sans. Que cette opinion soit fausse, nous le prouverons de la manière suivante :

» *Ce qui est immobile ne décrit pas de cercle ;*

» *Deux poids en équilibre sont immobiles ;*

» *Donc deux poids en équilibre ne décrivent aucun cercle* (1).

» Partant, il n'y a pas de cercle ; le cercle supprimé, la cause qui pouvait résider en lui disparaît ; la cause de l'équilibre du levier ne se cache donc pas dans les arcs de cercle. Insistons, afin de mettre hors de doute la mineure de notre syllogisme ; ce mouvement, cette description de cercles, que l'on considère ici, n'est nullement une propriété des poids qui se font équilibre ; il est un effet du hasard, il est causé par le vent ou par quelque impulsion étrangère ; et alors, ce ne sont pas seulement des poids en équilibre qui décrivent des cercles, mais aussi des poids ἀνισόῤῥοπα quelconques. La cause de l'équilibre ne réside donc point dans ces arcs de cercle... Il ne faut point s'étonner si ceux qui prenaient pour vérités de telles erreurs ne sont point arrivés à la véritable connaissance des causes, et que, n'ayant pu, en aucune manière, trouver la forme de la Statique, ils se soient écartés de la vérité dans les sens les plus divers, luttant avec une foule de propositions fausses. »

La condamnation est sévère ; elle est souverainement injuste ; de cette proposition, si hautainement réfutée par Stevin, un progrès continu a fait sortir la méthode entière des déplacements virtuels, et la fécondité, plus étonnante chaque jour, de cette méthode ne cesse de proclamer le génie de celui qui a composé les Μηχανικὰ προβλήματα. La méprise de Stevin est celle d'un esprit exclusivement

(1) Dans son français naïf, Albert Girard formule ainsi ce syllogisme : Ce qui demeure coy, estant suspendu, ne descrit aucune circonférence.

Deux pesanteurs pendues en équilibre sont coyes.

Deux pesanteurs pendues en équilibre donc ne descrivent aucune circonférence.

géométrique. Les yeux du géomètre, qui n'est que géomètre, exigent des torrents de lumière ; les seules vérités qu'ils aperçoivent sont celles qui, brillants papillons, ouvrent leurs ailes au grand soleil de l'évidence ; or les idées de l'avenir, demain insectes parfaits, mais aujourd'hui larves encore, vivent dans une demi-clarté ; aux yeux éblouis du géomètre, cette demi-clarté semble une nuit profonde où grouillent des monstres.

Plus justes sont les critiques adressées par Stevin (1) à la Dynamique, encore bien informe, qu'enseigne Cardan dans l'*Opus novum ;* bien aisément, le géomètre de Bruges montre l'impuissance de cette Dynamique à rendre compte des particularités qu'offre la chute des graves dans l'air ou dans un milieu homogène ; comment rendrait-elle compte des mouvements des « machines, formées d'un agencement de bois et de fer, où certaines parties sont graissées d'huile ou de saindoux, où d'autres sont gonflées par l'humidité de l'air ou rongées par la rouille, où ces diverses circonstances, et beaucoup d'autres que je passe sous silence, viennent tantôt faciliter le mouvement, tantôt le gêner » ?

La Statique laissera donc de côté toute considération sur le mouvement des machines : « La Statique enseignera exclusivement (2) les circonstances dans lesquelles le poids moteur et le poids mû s'équivalent ou se font équilibre. Mais à tout mobile sont toujours liés d'une manière inhérente certains empêchements au mouvement ; c'est par la pensée seulement que l'on en peut faire abstraction ; et pour mettre le mobile en mouvement, il est également nécessaire de surmonter ces empêchements ; la détermination de la puissance qu'il faut mettre en œuvre pour ébranler et émouvoir un poids donné restera en dehors des enseigne-

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, p. 151 ; Caput II : Res motas impedimentis suis non esse proportionales.

(2) Simon Stevin, *Ibid.*, Liber tertius, de Staticæ praxi, p. 81 ; ad Lectorem.

ments de la Statique. La méthode mathématique, en effet, est impuissante à déterminer et à expliquer ces excès de puissance motrice qu'exige le mouvement ; car les empêchements au mouvement n'ont, avec l'objet mû, aucune relation constante. »

La Statique peut-elle être construite hors de toute considération de ces obstacles au mouvement? Simon Stevin l'affirme ; il nie que ces obstacles, ces frottements puissent maintenir les corps en repos dans des conditions autres que celles qui sont fixées par la science de l'équilibre. « D'ailleurs, dit-il (1), la considération de l'équilibre suffit ici ; en effet, si, dans les deux plateaux d'une balance, vous placez des poids égaux, bien que le fléau ne soit pas exempt de certains obstacles au mouvement, il suffira toutefois du plus léger effort pour faire osciller la balance alternativement d'un côté et de l'autre ; et il est certain qu'il en sera de même dans tous les autres cas. »

Manifestement, l'affirmation est erronée. Les frottements de toute espèce, les diverses sortes d'empêchements au mouvement déterminent une foule d'équilibres que ne saurait prévoir une Statique où l'on ne tient aucun compte de ces obstacles. Il y a pour cette Statique, en tous ces *impedimenta*, des sources de démentis, des causes de désaccord avec la réalité. Le géomètre, cependant, les laissera hors de ses raisonnements, parce que les lois auxquelles ils obéissent ne présentent pas, à ses yeux, un degré suffisant de clarté. « Impedimentorum, inquam (2), potentia, cum catholica non sit, a Staticæ præceptis rejicienda, quia ejus ad potentiam moventem ratio unica et certa nulla apparet. » Étrange méthode, pensera-t-on, qui sacrifie l'exactitude à la simplicité et à la clarté ; mais heureux illogisme, qui arrache l'esprit humain à l'inutile et désespérante contemplation d'un problème inabordable,

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica.*
(2) Simon Stevin, *Ibid.*

hérissé de difficultés et de complications, pour le lancer à l'assaut d'un problème moins abrupt et plus accessible ; sûr de celui-ci, il pourra, dans un second effort, y appuyer sa marche en avant et se rendre enfin maître de l'entière vérité, imprenable tout d'abord. Si, dans l'étude de la chute des corps, Galilée n'avait pas négligé la résistance, si réelle et si efficace, du milieu, il n'eût pas créé la Dynamique. De même, la Statique n'eût pas reçu de Simon Stevin la féconde impulsion qu'elle lui doit, si ce géomètre eût voulu tenir compte des résistances et des frottements.

C'est donc, à la manière d'Archimède, une Statique indépendante de la science du mouvement que Stevin composera ; cette Statique tirera ses déductions d'axiomes auxquels le sens commun conférera certitude et clarté.

En toute entreprise de ce genre, la difficulté est moins d'enchaîner dans un ordre logique rigoureux les diverses propositions, dont la suite formera la théorie que l'on veut exposer, que d'énumérer, sans omission ni répétition, tous les axiomes dont on doit réclamer l'acceptation. Au début de ses *Éléments*, Euclide a donné un inoubliable modèle d'une telle énumération ; formé à son École, Archimède a su merveilleusement démêler presque toutes les demandes qu'il convenait de formuler au début de ses traités mécaniques. Il en a omis cependant, et non des moindres ; sa théorie du levier suppose, sans la demander explicitement, l'existence de certaines propriétés du centre de gravité. En l'accomplissement d'une semblable tâche, Simon Stevin fut, peut-être, moins heureux que ses illustres modèles ; sous la minutieuse complication de l'appareil logique selon lequel s'ordonnent ses déductions se glisse parfois un postulat, à demi caché, et d'une évidence moins immédiate que les axiomes formellement énoncés. Girard, déjà, en avait fait la remarque ; au cours d'une de ses démonstrations (Livre I, Théorème II, Prop. VI), Stevin place incidemment cette phrase : « Il faut aussi remarquer

cette règle générale de Statique, que *le centre de gravité d'un corps suspendu est en sa perpendicle de gravité.* » A la suite de cette déduction de Stevin, Albert Girard place une note où, entre autres critiques, se lit celle-ci : « On voit que Stevin ne prouve pas du tout sa démonstration, car il s'aide puis après d'une règle qu'il ne démonstre pas icy... Finalement, il devoit plus tost avoir mis la règle cy-dessus ès petitions. »

Les *Éléments de Statique* (1) débutent par une série de définitions ; ils présentent ensuite une série de propositions ; parmi celles-ci, les unes sont consacrées aux poids qui

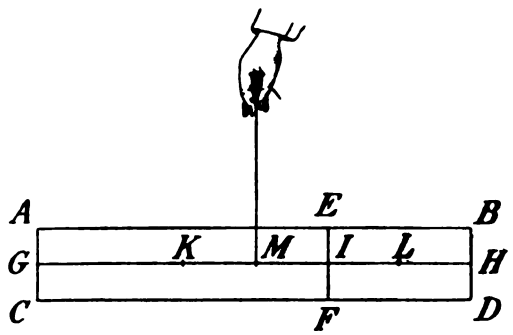

fig. 73.

tirent verticalement, les autres aux poids qui tirent obliquement ; les premières sont dominées par la théorie du levier, les secondes par la théorie du plan incliné.

La théorie du levier est présentée sous une forme très ingénieuse.

Imaginons un cylindre droit, homogène, à génératrices horizontales, ABCD (fig. 73) ; supposons-le suspendu par son centre de figure M, qui est, en même temps, son centre de gravité ; ce cylindre sera sûrement en équilibre.

Par une section droite EF, nous pouvons décomposer

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis.

ce cylindre en deux cylindres partiels AECF et EFBD dont les volumes et, partant, les poids aient entre eux tel rapport qu'il nous plaira d'imaginer. A chacun de ces poids, nous pourrons ensuite substituer deux poids de forme quelconque mais égaux aux premiers, suspendus à la ligne non pesante, GH, qui sert d'axe au cylindre total, par les points K, L, centres de gravité des cylindres partiels.

Nous avons donc, en définitive, un levier horizontal en équilibre K, L qui porte en ses extrémités K, L des poids proportionnels à GI et IH, c'est-à-dire inversement proportionnels aux longueurs KM, ML des bras de levier.

Telle est la méthode fort élégante par laquelle Stevin parvient (1) à la loi d'équilibre du levier horizontal ; il en tire aisément ensuite la loi d'équilibre d'un levier oblique et diverses propositions touchant les centres de gravité.

Quelle est l'originalité de cette démonstration, c'est ce que nous examinerons plus tard. Pour le moment, nous poursuivrons l'analyse de la Statique composée par le grand géomètre de Bruges et nous porterons en premier lieu notre attention sur le problème du plan incliné.

De ce problème célèbre, Stevin obtient la solution par une méthode infiniment originale, que rien ne rappelle dans les méthodes diverses par lesquelles Galilée, Descartes et Torricelli ont résolu la même question.

« Jusqu'ici, dit-il (2), nous avons énuméré les diverses espèces de poids tirant verticalement ; désormais, nous allons décrire les propriétés des poids tirant obliquement ; de ces propriétés, nous prendrons pour fondement la vérité générale que renferme ce Théorème :

» Théorème XI, Proposition XIX. *Soit un triangle dont le plan est perpendiculaire et la base parallèle à l'horizon ; sur les deux autres côtés, sont placées deux*

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, pp. 12-13.

(2) Simon Stevin, *Ibid.*, Liber primus, de Staticæ elementis, p. 34.

boules (1) *qui s'équilibrent l'une l'autre* (2) ; *la pesanteur apparente* (sacoma) *de la boule de gauche est à la pesanteur apparente antagoniste* (antisacoma) *de la boule de droite comme la longueur du côté droit du triangle est à la longueur du côté gauche.*

» Soit, ajoute Stevin, le triangle ABC (fig. 74), où le côté AB est double du côté BC ; les deux boules D et E étant de même grandeur et de même poids, il s'agit de prouver que la pesanteur apparente de la boule E est double de la

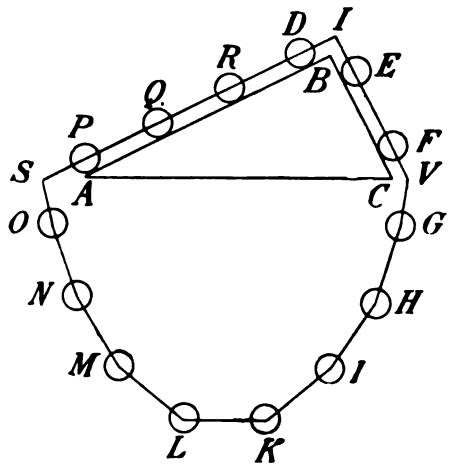

fig. 74

pesanteur apparente de la boule D. Dans ce but, adjoignons à ces boules douze autres boules qui leur soient identiques F, G, H, I, K, L, M, N, O, P, Q, R ; relions-les les unes aux autres par des fils égaux, de telle manière que nous formions un collier sur lequel nos quatorze boules soient également espacées. Jetons ce collier sur notre

(1) Ajoutez : *de même grandeur et de même poids.*

(2) Stevin veut dire par là : *disposées de telle sorte que la descente de l'une oblige l'autre à monter.* Pris au pied de la lettre, l'énoncé donné par Stevin serait en contradiction avec les développements qui le suivent.

triangle, de telle sorte que le côté AB porte quatre boules et le côté BC deux boules seulement.

» Si la pesanteur apparente de l'ensemble de quatre boules D, R, Q, P n'était pas égale à la pesanteur apparente de l'ensemble des deux boules E, F, l'un de ces deux ensembles pèserait plus que l'autre ; supposons que l'ensemble le plus pesant soit celui des quatre boules D, R, Q, P. D'autre part, les quatre boules O, N, M, L ont évidemment même pesanteur que les quatre boules G, H, I, K. Donc la partie du collier formée par les huit boules D, R, Q, P, O, N, M, L serait plus lourde que la partie du collier formée par les six boules E, F, G, H, I, K. Or le plus lourd entraîne le plus léger ; les huit boules vont donc descendre et les six vont donc monter. Imaginons que D soit descendue jusqu'à prendre la place de O, que E, F, G, H se soient substituées à P, Q, R, D, enfin que I, K se trouvent où étaient E, F. La couronne ou le collier de boules se retrouvera exactement dans la même situation qu'au début ; pour la même raison, les huit boules de gauche pèseront plus que les six boules de droite ; de nouveau, ces huit boules de gauche descendront, les six de droite monteront. Ainsi, ces boules prendront d'elles-mêmes un mouvement continu et éternel, ce qui est faux. »

La pesanteur apparente *(sacoma)* des quatre boules de gauche est donc égale à la pesanteur apparente antagoniste *(antisacoma)* des deux boules de droite ; et, comme le voulait l'énoncé, le *sacoma* de l'une des boules de gauche est la moitié de l'*antisacoma* de l'une des boules de droite.

Supposons qu'un corps M (fig. 75), reposant sur un plan incliné AB, soit tiré par un fil MN, tendu parallèlement à la ligne de plus grande pente du plan ; que ce fil passe ensuite sur une poulie N et que le bout qui pend verticalement porte un poids P. Quelle grandeur devra avoir ce poids P pour maintenir le corps M en équilibre ? Il devra évidemment être égal à la pesanteur apparente, au *sacoma*

du corps M ; en d'autres termes, le poids P sera au poids du corps M comme BC est à AC.

Ce résultat peut encore s'énoncer d'une autre manière ; traçons un triangle *abc* dont les côtés *ac*, *ab* sont respectivement perpendiculaires à AC, AB, tandis que le troisième côté *bc* est parallèle à AB. Le poids P sera au poids M comme le côté *bc* est au côté *ac*. Cette construc-

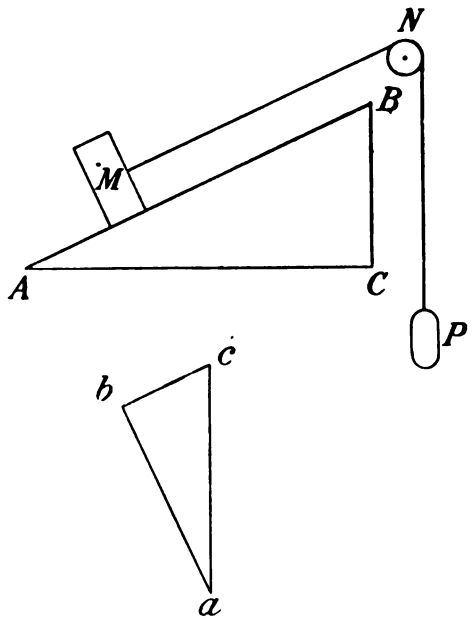

fig. 75.

tion, donnée par Stevin (1), est, on le voit, celle que nous ferions aujourd'hui pour exprimer que la tension du fil MN et le poids du corps M ont une résultante normale au plan AB.

Comment devra être déterminé le poids P (fig. 76) si le fil qui tire le mobile M est tendu suivant une ligne MN

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis, p. 35.

qui n'est plus parallèle au plan incliné AB ? Stevin conserve la règle précédente. Si l'on trace un triangle *abc* dont les côtés *ac*, *ab* sont le premier vertical et le second normal à AB, tandis que le troisième côté *bc* est parallèle à MN, le poids P sera au poids M comme le côté *bc* est au côté *ac*. La règle ainsi formulée est encore celle que

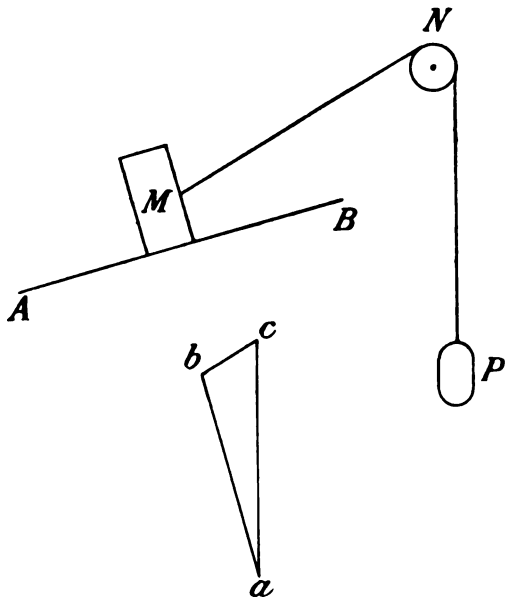

fig. 76.

nous suivons aujourd'hui pour marquer que le poids du mobile et la tension du fil ont une résultante normale au plan incliné.

Mais, il faut bien le reconnaître, cette généralisation de la première règle est, dans l'œuvre de Stevin, une pure pétition de principes ; il ne nous semble pas que les considérations (1) qui en accompagnent l'énoncé puissent, en aucune façon, être prises pour un raisonnement.

(1) Simon Stevin, *loc. cit.*, 6 Consectarium, pp. 36 et 37.

Les règles que nous venons d'exposer équivalent, en somme, à des compositions de forces ; et, en effet, Stevin va en tirer la loi générale de la composition de deux forces concourantes, la loi célèbre du parallélogramme.

Il supposera que deux cordes soutiennent un corps pesant et il démontrera, tout d'abord, que les directions de ces deux cordes, situées dans un même plan vertical, vont concourir en un point qui est sur la verticale du centre de gravité du corps suspendu ; puis, il cherchera quelle est la tension de chacune de ces deux cordes ; il construira un parallélogramme dont les côtés soient parallèles aux deux cordes et dont la diagonale soit verticale ; il montrera alors que la tension de chaque corde est au poids total du corps comme la longueur du côté correspondant du parallélogramme est à la longueur de la diagonale ; ainsi se trouvera démontrée la règle, désormais célèbre, qui donne la résultante de deux forces concourantes ; de cette règle, diverses conséquences, classiques encore aujourd'hui, se tireront aisément.

Par quels intermédiaires Stevin a-t-il pu passer, des théorèmes sur le plan incliné dont nous avons rappelé l'énoncé, à la règle du parallélogramme des forces ? Ces intermédiaires, il ne nous est pas possible de les retracer ici ; la méthode géométrique des anciens, dont Stevin fait un usage exclusif, progresse par une longue suite de propositions, enchaînées par de complexes artifices de construction ; cette lenteur et cette complication paraissent insupportables à nos esprits qui ont accoutumé de goûter la brièveté et la simplicité de l'analyse moderne.

Cette pénible déduction, Stevin ne l'a pas menée d'emblée de son point de départ à son point d'arrivée ; pour obtenir la règle du parallélogramme des forces, il a dû s'y reprendre à deux fois. Au moment où il publiait la première édition flamande de sa Statique, il était déjà

en possession de la première partie de l'énoncé (1) ; mais la seconde partie fut publiée pour la première fois dans un appendice sur l'équilibre des fils (*Spartostatica*) (2), inséré aux *Hypomnemata mathematica*.

D'ailleurs, la minutieuse complication de l'appareil logique mis en œuvre par Stevin ne fonctionne pas sans quelques heurts et sans quelques soubresauts ; nous en avons déjà signalé un ; il n'est point seul et le passage (3) de l'équilibre d'un corps sur un plan incliné à l'équilibre d'un corps qui a un point fixe nous semble bien scabreux.

Quoi qu'il en soit des objections que l'on peut adresser à plus d'un raisonnement de Stevin, les règles qu'il a énoncées sont exactes ; elles répondent à des questions qui, dès l'antiquité, avaient sollicité les efforts des mécaniciens sans trouver de solution ; elles seront d'un continuel usage aux géomètres qui, dans l'avenir, traiteront de la Statique ; Stevin avait donc le droit de contempler avec orgueil le monument dont il était l'architecte.

Il était particulièrement fier d'avoir résolu le problème du plan incliné, qui formait comme la clé de voûte de toute sa Statique. En frontispice (4) de la première édition de son œuvre, figurait, au centre d'un écusson, la figure d'un triangle ceint d'un collier de quatorze perles ; cette figure et la devise flamande (5) « *Wonder en is gheen Wonder* » qui la surmontait rappelaient au lecteur l'original artifice par lequel le géomètre de Bruges avait, si simplement, délié ce nœud gordien.

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis. 16 Theorema, 25 Propositio ; p. 46.

(2) Simon Stevin, *Ibid.*, Additamentum Staticæ. Pars prima : De Spartostatica ; 3 Consectarium, p. 161.

(3) Simon Stevin, *Ibid.*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis ; 9 Consectarium, p. 39.

(4) Ce frontispice est reproduit dans : Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwickelung*, 2te Auflage, fig. 21, p. 28 ; Leipzig, 1889.

(5) « La merveille n'est pas merveille. »

Cette démonstration tire toute sa force d'un principe, l'impossibilité du mouvement perpétuel. Ce principe, Stevin en fait usage sans en avoir au préalable demandé l'acceptation à son lecteur, sans l'avoir mis au nombre des postulats (1) par lesquels débute sa Statique ; serait-il donc d'une telle évidence que cette précaution logique fût, pour lui, inutile ? Mais, parmi les postulats explicitement formulés par Stevin, le premier est celui-ci : Des poids égaux, suspendus à des bras de levier égaux, sont en équilibre. Or il est n'est point niable que l'impossibilité du mouvement perpétuel constitue une proposition beaucoup moins évidente que cette dernière, car celle-ci n'a jamais été mise en doute, tandis que toutes les époques ont connu des chercheurs de mouvement perpétuel, qui n'étaient point tous des fous.

Où donc Stevin a-t-il puisé cette confiance absolue dans l'axiome de l'impossibilité du mouvement perpétuel, sinon dans les raisonnements de Cardan, raisonnements que Cardan lui-même a empruntés à Léonard de Vinci ? Sans doute, Stevin ne mentionne qu'un seul ouvrage de Cardan, l'*Opus novum de proportionibus ;* mais alors qu'il a lu attentivement et critiqué ce dernier ouvrage, comment ignorerait-il le *De subtilitate*, dont la vogue a été si grande ? Et s'il doit à la lecture du *De subtilitate* sa foi en l'impossibilité du mouvement perpétuel, cette foi n'est-elle pas un hommage indirect aux considérations que développe cet ouvrage touchant la puissance nécessaire pour maintenir une machine en mouvement ? Car sans ces considérations, que Stevin a très vivement blâmées, Léonard de Vinci et Cardan n'auraient pu justifier leurs attaques contre le mouvement perpétuel.

Ainsi, ceux mêmes qui prétendent édifier une Statique

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis. Postulata, p. 18.

parfaitement autonome, pleinement indépendante de tout appel aux lois du mouvement, se voient parfois contraints de recourir, plus ou moins explicitement, aux principes de la Dynamique.

Parmi les appendices à sa primitive Statique que Stevin inséra dans ses *Mathematica Hypomnemata*, il en est un (1) qui traite de l'équilibre des poulies et des moufles (*Trochleostatica*). A propos de ces mécanismes, il formule cette brève observation (2) : « Remarquez aussi qu'en ce cas, on peut appliquer cet axiome de Statique :

» *Ut spatium agentis, ad spatium patientis ;*
» *Sic potentia patientis ad potentiam agentis.* »

C'est le seul passage où Stevin fasse allusion aux considérations si souvent développées par les auteurs qui, avant lui, se sont occupés de Statique. De cette allusion, toute considération du rapport entre la *vitesse* de la puissance et la *vitesse* de la résistance est soigneusement exclue ; Stevin est, en cela, conséquent avec les critiques si vives qu'il avait adressées à l'énoncé péripatéticien du principe des vitesses virtuelles. Le *chemin* parcouru par la puissance et le *chemin* parcouru par la résistance sont seuls pris en considération, comme ils le seront systématiquement par Descartes, dont les recherches ont assurément subi l'influence de la Statique de Stevin. Cette influence indéniable donne une importance toute particulière au passage, si court, que nous venons de citer ; ce passage marque, en quelque sorte, un tournant dans la marche suivie par la science de l'équilibre.

La Dynamique péripatéticienne conduit de la manière

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Additamentum Staticæ. Additamenti Staticæ pars secunda : De Trochleostatica ; p. 169.

(2) Simon Stevin, *loc. cit.*, p. 172.

la plus naturelle à déclarer que deux poids sont en équilibre lorsqu'ils sont inversement proportionnels aux *vitesses virtuelles* de leurs points d'application. Cet énoncé domine non seulement les Μηχανικὰ προβλήματα attribués à Aristote, mais encore maint écrit de l'École d'Alexandrie, les *Causes* de Charistion, le commentaire qu'en a donné Thâbit ibn Kurrah.

Un principe d'origine très distincte, bien que fort semblable au précédent dans ses effets, consiste à poser l'équilibre entre deux poids lorsque l'*abaissement virtuel* de l'un est à l'*élévation virtuelle* de l'autre comme le poids du second est au poids du premier. Implicitement admis, ce principe fournit à Jordanus sa théorie du levier droit ; le Précurseur de Vinci en tire, avec une admirable sagacité, la théorie du levier coudé et la loi du plan incliné.

Dans les écrits des géomètres du XVIe siècle, les deux principes, nés de pensées différentes, mais indistincts dans leurs applications, se trouvent constamment entremêlés. Léonard de Vinci, Cardan, les admettent tous deux et, bien souvent, on aurait quelque peine à décider si leurs raisonnements se réclament de l'un plutôt que de l'autre. Tartaglia, après avoir exposé la doctrine d'Aristote, emprunte la méthode inaugurée par Jordanus et son École. Enfin, Guido Ubaldo se refuse à tirer ses déductions de l'un ou de l'autre principe ; il les transforme l'un et l'autre en corollaires, mais, à ce titre, il les regarde comme équivalents et a toujours soin de les énoncer l'un à la suite de l'autre.

Galilée, qu'une tradition erronée nous montre jetant bas la Dynamique péripatéticienne et inaugurant la Dynamique nouvelle, garde, presque en toutes circonstances, le principe des *vitesses* virtuelles tel que l'a formulé Aristote ; c'est seulement d'une manière incidente, en de rares occasions, qu'il lui donne la forme du principe des *déplacements* virtuels. Au contraire, le staticien Stevin,

par ses attaques contre le principe péripatéticien, par la courte remarque que nous avons citée, fraye la voie à Descartes. Celui-ci fera aboutir les tendances issues à l'École de Jordanus ; il montrera comment le principe des *déplacements* virtuels sauve la méthode si féconde introduite en Statique par les péripatéticiens de la ruine où, sous ses coups et sous les attaques de Beeckman, s'effondre la Dynamique d'Aristote.

Il ne semble pas, d'ailleurs, que Stevin ait entrevu toute l'importance de la comparaison entre le chemin parcouru par la puissance et le chemin parcouru par la résistance. Dès longtemps, cette comparaison avait servi à condamner la prétention, attribuée à Archimède, de composer une machine si puissante que la force d'un homme suffirait à mettre en mouvement un poids aussi gros que la Terre ; fort justement, on observait que le chemin parcouru par cette résistance serait au chemin décrit par la main de l'homme comme la puissance de l'homme est à cet énorme poids ; en sorte qu'un mouvement, même très grand, de cette main ne donnerait à la Terre qu'un déplacement prodigieusement petit. Stevin rapporte cette objection, dont il ne pouvait contester le bien fondé, mais il ne paraît pas en avoir senti la gravité. « Bien que ce déplacement, dit-il (1), ne soit ni visible ni appréciable, cependant, la possibilité de produire une puissance infinie nous est démontrée et notre esprit la saisit ; si son action se poursuivait pendant de longs siècles, elle finirait par produire un mouvement visible... L'exclamation qu'Archimède lança autrefois, dans sa joie d'avoir découvert le *charistion* : « δός μοι ποῦ στῶ, καὶ κινῶ τὴν γῆν, donnez-moi » un point d'appui et, de ce point, je tirerai la terre ! » ne doit pas être regardée comme l'énoncé d'une impossibilité ou d'une absurdité. »

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber tertius Staticæ, de Staticæ Praxi ; 1ª Propositio : Infinitæ potentiæ formas et accidentia exponere ; p. 107.

Le passage d'où nous extrayons cette citation prête, d'ailleurs, à plus d'une remarque intéressante.

Sur la foi de Jacques Besson, Stevin affirme (1) que le *charistion* dont l'invention arracha à Galilée cette exclamation enthousiaste, était une machine propre à haler les vaisseaux sur une cale. La construction de cette machine reposait sur l'emploi de vis sans fin multiples. Elle avait été imaginée en vue du halage d'une galère immense que Hiéron, tyran de Syracuse, avait fait construire à l'intention du roi d'Égypte, Ptolémée ; le nom de *charistion* était une allusion aux formes gracieuses du navire. A la vérité, on ne comprend guère que cette tonture élégante ait fait donner ce nom non pas à la galère, mais à l'instrument qui permettait de la tirer au sec. Nous avons dit, d'ailleurs, au Chapitre V, combien peu de crédit, selon nous, méritait toute cette légende.

Au *charistion* d'Archimède, Stevin préfère pour le même usage, une machine qu'il nomme *pancration*, à cause de sa grande puissance, et qui n'est autre que notre moderne guindeau.

Stevin parle de ce guindeau, de sa construction, de ses effets, dans des termes tels qu'il serait difficile au lecteur de ne lui en point attribuer l'invention ; cette invention, cependant, remonte au moins à Héron d'Alexandrie ; non seulement Héron décrit ce guindeau (2) au commencement de son livre sur *L'élévateur*, mais encore Pappus en donne (3) la description d'après ce grand mécanicien ; il en attribue même l'invention à Archimède et c'est, selon lui, cette invention qui provoqua l'exclamation ambitieuse du grand géomètre de Syracuse. Or, il est certain que Stevin n'a pas connu l'ouvrage de Héron, car le manuscrit de la tra-

(1) Simon Stevin, *loc. cit.*, p. 101.

(2) Héron d Alexandrie, *Les Mécaniques ou l'Élevateur*, publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ ibn Lûkâ et traduites en français par Carra de Vaux ; Paris, 1894, p. 39.

(3) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* edidit F. Hultsch ; Berolini, 1878. Volumen III, p. 1060.

par ses attaques contre le principe péripatéticien, par la courte remarque que nous avons citée, fraye la voie à Descartes. Celui-ci fera aboutir les tendances issues à l'École de Jordanus ; il montrera comment le principe des *déplacements* virtuels sauve la méthode si féconde introduite en Statique par les péripatéticiens de la ruine où, sous ses coups et sous les attaques de Beeckman, s'effondre la Dynamique d'Aristote.

Il ne semble pas, d'ailleurs, que Stevin ait entrevu toute l'importance de la comparaison entre le chemin parcouru par la puissance et le chemin parcouru par la résistance. Dès longtemps, cette comparaison avait servi à condamner la prétention, attribuée à Archimède, de composer une machine si puissante que la force d'un homme suffirait à mettre en mouvement un poids aussi gros que la Terre ; fort justement, on observait que le chemin parcouru par cette résistance serait au chemin décrit par la main de l'homme comme la puissance de l'homme est à cet énorme poids ; en sorte qu'un mouvement, même très grand, de cette main ne donnerait à la Terre qu'un déplacement prodigieusement petit. Stevin rapporte cette objection, dont il ne pouvait contester le bien fondé, mais il ne paraît pas en avoir senti la gravité. « Bien que ce déplacement, dit-il (1), ne soit ni visible ni appréciable, cependant, la possibilité de produire une puissance infinie nous est démontrée et notre esprit la saisit ; si son action se poursuivait pendant de longs siècles, elle finirait par produire un mouvement visible... L'exclamation qu'Archimède lança autrefois, dans sa joie d'avoir découvert le *charistion* : « δός μοι ποῦ στῶ, καὶ κινῶ τὴν γῆν, donnez-moi » un point d'appui et, de ce point, je tirerai la terre ! » ne doit pas être regardée comme l'énoncé d'une impossibilité ou d'une absurdité. »

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber tertius Staticæ, de Staticæ Praxi ; 1ª Propositio : Infinitæ potentiæ formas et accidentia exponere ; p. 107.

Le passage d'où nous extrayons cette citation prête, d'ailleurs, à plus d'une remarque intéressante.

Sur la foi de Jacques Besson, Stevin affirme (1) que le *charistion* dont l'invention arracha à Galilée cette exclamation enthousiaste, était une machine propre à haler les vaisseaux sur une cale. La construction de cette machine reposait sur l'emploi de vis sans fin multiples. Elle avait été imaginée en vue du halage d'une galère immense que Hiéron, tyran de Syracuse, avait fait construire à l'intention du roi d'Égypte, Ptolémée ; le nom de *charistion* était une allusion aux formes gracieuses du navire. A la vérité, on ne comprend guère que cette tonture élégante ait fait donner ce nom non pas à la galère, mais à l'instrument qui permettait de la tirer au sec. Nous avons dit, d'ailleurs, au Chapitre V, combien peu de crédit, selon nous, méritait toute cette légende.

Au *charistion* d'Archimède, Stevin préfère pour le même usage, une machine qu'il nomme *pancration*, à cause de sa grande puissance, et qui n'est autre que notre moderne guindeau.

Stevin parle de ce guindeau, de sa construction, de ses effets, dans des termes tels qu'il serait difficile au lecteur de ne lui en point attribuer l'invention ; cette invention, cependant, remonte au moins à Héron d'Alexandrie ; non seulement Héron décrit ce guindeau (2) au commencement de son livre sur *L'élévateur*, mais encore Pappus en donne (3) la description d'après ce grand mécanicien ; il en attribue même l'invention à Archimède et c'est, selon lui, cette invention qui provoqua l'exclamation ambitieuse du grand géomètre de Syracuse. Or, il est certain que Stevin n'a pas connu l'ouvrage de Héron, car le manuscrit de la tra-

(1) Simon Stevin, *loc. cit.*, p. 101.

(2) Héron d'Alexandrie, *Les Mécaniques ou l'Élevateur*, publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ ibn Lûkâ et traduites en français par Carra de Vaux ; Paris, 1894, p. 39.

(3) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* edidit F. Hultsch ; Berolini, 1878. Volumen III, p. 1060.

duction arabe de Qostâ ibn Lûkâ, récemment publiée par M. le baron Carra de Vaux, fut apporté par Golius (1596-1667) à la Bibliothèque de Leyde longtemps après la publication de la Statique de Stevin. Mais, en revanche, le grand géomètre de Bruges a sûrement eu connaissance des *Collections mathématiques* de Pappus. Il cite cet auteur (1) en lui empruntant sa définition du centre de gravité, qui se trouve (2) dans le même livre (livre VIII) que la description du guindeau.

Stevin, nous le voyons, ne poussait pas jusqu'au scrupule le soin de nommer ses prédécesseurs et de mentionner les emprunts qu'il leur faisait. Il suivait en cela, d'ailleurs, les errements coutumiers à tous ses contemporains ; un auteur ne citait guère ses précurseurs ou ses émules que lorsqu'il s'agissait de les combattre. De telles habitudes rendent fort malaisée la tâche de l'historien ; lorsqu'il veut démêler les influences qui ont pu suggérer à un géomètre une idée nouvelle, l'historien, bien souvent, en est réduit aux conjectures.

Stevin a-t-il connu les doctrines professées en Statique par l'École de Jordanus ? Il me paraît difficile d'en douter. Comment admettre qu'il n'ait eu en mains ni le traité publié, sous le nom de Jordanus, par Peter Apian, ni quelqu'une des nombreuses éditions des *Quesiti et Inventioni diverse* de Tartaglia ? Il a donc sûrement connu, par l'un ou l'autre de ces écrits, la notion de gravité *secundum situm*, notion à laquelle correspond si exactement celle qu'il désigne par le mot *sacoma*.

Stevin a-t-il connu le *Mechanicorum liber* de Guido Ubaldo ? Il a pu le connaître et en user au cours de ses recherches de Statique ; le *Mechanicorum liber* fut imprimé en 1577 ; la traduction italienne donnée par Pigafitta

(1) Simonis Stevini *Mathematicorum Hypomnematum de Statica*, Liber primus Staticæ, de Staticæ elementis, p. 6.

(2) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* edidit F. Hultsch ; Volumen III, p. 1032.

parut en 1581 ; tandis que la première édition de la Statique de Stevin est de 1586. Toujours est-il que l'un des grands titres de gloire de Stevin est d'avoir exactement résolu un problème que Guido Ubaldo avait simplement posé.

L'École de Jordanus, en effet, s'était contentée de considérer la *gravitas secundum situm*, c'est-à-dire la composante du poids suivant la trajectoire que peut prendre le mobile. Guido Ubaldo insista sur la nécessité de considérer aussi la composante du poids suivant la normale à cette trajectoire ; mais il ignora sûrement le moyen de déterminer ces deux composantes.

Stevin donna la règle selon laquelle le poids doit se résoudre en ces deux composantes rectangulaires, et la priorité de cette découverte ne lui saurait être contestée (1). Sans doute, Léonard de Vinci avait eu, un instant, une exacte connaissance de la règle selon laquelle un poids peut se décomposer suivant deux directions données ; mais cette règle, il l'avait rejetée presque aussitôt qu'aperçue, et personne ne semble l'avoir remarquée dans ses notes, ni livrée au public.

Si Stevin est parvenu à décomposer correctement un poids en deux forces rectangulaires, il le doit à la solution du problème du plan incliné. Malgré l'originale ingéniosité de la méthode par laquelle Stevin a su résoudre ce problème, on ne saurait oublier que l'École de Jordanus l'avait non moins exactement résolu avant lui, ni douter qu'il ait connu les recherches de ses prédécesseurs.

(1) Nous avons dit, à la fin du Chapitre III, que Libri avait revendiqué pour Cardan l'invention de cette règle, et nous avons mis le lecteur en garde contre cette affirmation. Depuis l'impression du Chapitre III, nous avons pu contrôler l'assertion de Libri et reconnaître qu'au passage cité par celui-ci, Cardan avait parlé non de la règle de composition des *forces*, mais de la règle de composition des *vitesses*, connue déjà de l'auteur des Μηχανικὰ προβλήματα. Chose curieuse, Cardan croit que cette règle n'est exacte que pour des vitesses rectangulaires. — Cet exemple montre le cas que l'on doit faire des renseignements fournis par Libri.

Au moment ou Stevin publia la première édition de sa Statique, les *Quesiti et Inventioni diverse* de Nicolo Tartaglia avaient eu cinq éditions, dont la plus récente datait déjà de trente-deux ans ; depuis vingt et une années, Curtius Trojanus avait fait imprimer le *Jordani opusculum de ponderositate* ; comment Stevin aurait-il ignoré la belle théorie du plan incliné donnée par le Précurseur de Léonard de Vinci ?

Il n'est donc pas douteux que l'œuvre admirable accomplie en Statique par le grand géomètre de Bruges n'ait, à plusieurs reprises, éprouvé la bienfaisante influence des idées émises, dès le XIIIe siècle, par Jordanus de Nemore et par les mécaniciens de son École.

Il est encore une découverte en laquelle Stevin avait été devancé, peut-être à son insu.

Les géomètres de l'École d'Alexandrie s'étaient efforcés de tirer de la loi du levier la démonstration de la proposition suivante : Un cylindre pesant, fixé au bras d'un levier de telle sorte que ses génératrices lui soient parallèles, équivaut à un poids égal suspendu à un fil dont le point d'attache se trouverait coïncider avec le centre du cylindre. Ce théorème jouait un rôle essentiel dans les quatre propositions attribuées à Euclide, dans le *Liber Charastonis* publié par Thâbit ibn Kurrah, dans le *De canonio* ; il terminait les *Elementa Jordani de ponderibus* (1).

Retournant, en quelque sorte, la démonstration suivie jusqu'à lui, Stevin a admis l'exactitude de cette proposition

(1) Ce principe n'a cessé de préoccuper les géomètres de l'antiquité et du moyen âge ; l'un d'eux a tenté de la justifier directement, par une sorte de généralisation de la démonstration que les Μηχανικὰ προβλήματα ont donnée de la règle du levier. Cette généralisation, tout imprégnée d'idées péripatéticiennes, repose sur une tentative pour définir ce qu'il convient d'entendre par grandeur du mouvement d'un segment de ligne. Elle se trouve en un fragment du XIIIe siècle, sans nom d'auteur, inséré à la suite du *Liber Charastonis* dans le Ms. 8680 A (latin) de la Bibliothèque Nationale (fol. 6 r. à fol. 7 r.).

et, fort élégamment, il en a tiré la preuve de la loi d'équilibre du levier. Galilée, dans la première journée des *Discorsi*, a exposé, postérieurement à Stevin, une déduction analogue.

Or, dès l'antiquité peut-être, dès le XIIIe siècle à coup sûr, on savait que la loi d'équilibre du levier pouvait se justifier de la sorte.

Une des nombreuses collections manuscrites (1) conservées à la Bibliothèque Nationale contient un fragment important dont l'élégante écriture gothique porte la marque du plus pur XIIIe siècle. On trouve, en ce fragment, une rédaction fort correcte du traité des poids spécifiques attribué à Archimède. Ce traité, nous l'avons dit, nous paraît apparenté au traité *De ponderoso et levi* attribué à Euclide et provenir, comme lui, de l'École d'Alexandrie.

A la suite de ce traité sur les poids spécifiques se trouvent réunies quelques propositions disparates qui pourraient bien avoir la même provenance.

La première de ces propositions a pour objet d'établir par la géométrie l'égalité que l'algèbre moderne écrirait sous la forme

$$(a - c)\, b = (a - b)\, c + (b - c)\, a.$$

Aussitôt après cette proposition vient une démonstration originale et élégante de la règle du levier ; résumons-la en quelques lignes.

On admet en principe que, quelles que soient leurs formes, deux poids égaux se font équilibre s'ils pendent aux extrémités de bras de leviers égaux.

Aux deux points a, b, équidistants du point d'appui c (fig. 77) sont suspendus deux poids égaux ; l'un d'eux, f, pendu en a, a une forme quelconque ; l'autre est un cylindre eg dont les génératrices sont horizontales ; le centre de ce cylindre est sur le fil vertical qui part du point b ;

(1) Bibliothèque Nationale (fonds latin), Ms. 7377 B.

ce cylindre est assez long pour que son extrémité g dépasse la verticale du point d'appui.

Remontons ce cylindre jusqu'à ce qu'il devienne contigu au levier et fixons-le en $e'g'$ à ce levier ; selon le postulat d'où se doit tirer notre démonstration, le levier demeurera en équilibre.

Mais il est évident que, sans troubler cet équilibre, nous

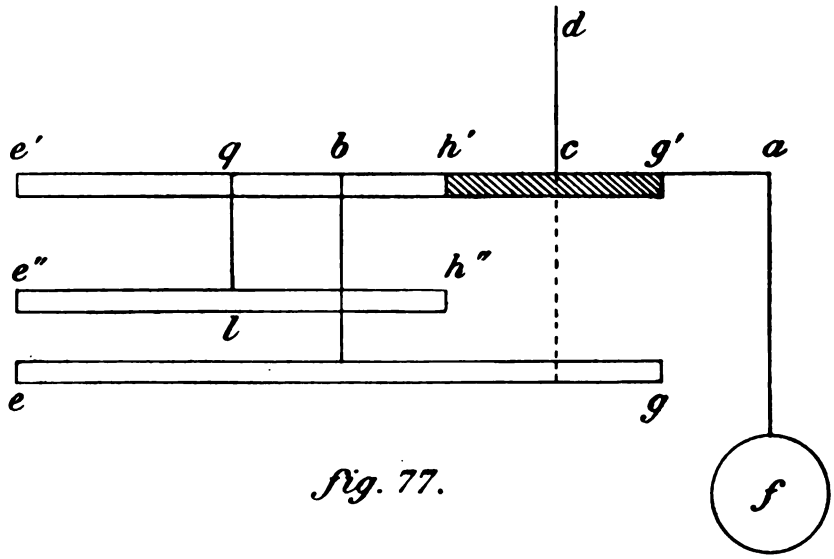

fig. 77.

pouvons retrancher de notre cylindre la portion cg' qui se trouve au delà de la verticale du point d'appui et une portion égale ch' en deçà de la même verticale ; en sorte que le cylindre $e'h'$, fixé au levier, fait équilibre au poids f, pendu en a.

Le cylindre $e'h'$, à son tour, peut, selon notre postulat, être remplacé par un cylindre égal $e''h''$ pendu à un fil qui s'attache au fléau en q, milieu de $e'h'$.

Si nous désignons par l le poids du cylindre $e'h'$ ou du cylindre $e''h''$, nous démontrerons sans peine que l'on a l'égalité

$$\frac{l}{f} = \frac{\overline{ca}}{\overline{cq}},$$

qui est la loi d'équilibre du levier.

Stevin a-t-il eu connaissance de cette démonstration ? Il ne nous est point possible de répondre à cette question. Quoi qu'il en soit, d'ailleurs, diverses conclusions nous paraissent hors de doute.

La première, c'est que Stevin a subi l'influence de ses prédécesseurs beaucoup plus souvent et beaucoup plus profondément que ses trop rares citations ne le laisseraient supposer.

La seconde, c'est que les germes semés en lui par les écrits d'autres géomètres ont pris, par ses méditations, un développement magnifique, souvent hors de proportion avec la graine dont son œuvre est issue ; en particulier, l'idée de résoudre une force en deux composantes, soupçonnée seulement par l'École de Jordanus et par Guido Ubaldo, a fourni à Stevin les théorèmes que nous admettons aujourd'hui et dont il a fait de nombreuses applications ; seul, Léonard de Vinci avait eu, avant Stevin, une vue aussi claire de la règle de composition des forces ; mais il avait lui-même méconnu sa découverte, et nul géomètre, semble-t-il, ne l'avait exhumée de ses notes.

La troisième conclusion, enfin, se peut formuler ainsi :

Malgré la complication et l'apparente rigueur de l'appareil logique que Stevin met en branle en chacune de ses démonstrations, il s'en faut de beaucoup que le géomètre de Bruges ait donné une preuve concluante de la règle selon laquelle il compose les forces concourantes ; après lui, cette règle attend encore qu'un géomètre l'établisse d'une manière entièrement convaincante ; ce sera l'œuvre de Roberval.

CHAPITRE XIII

LA STATIQUE FRANÇAISE — ROBERVAL

1. — *Salomon de Caus — Les premiers écrits du P. Mersenne — Le* COURS MATHÉMATIQUE *de Pierre Herigone*

A la fin du XVIe siècle et au début du XVIIe siècle, l'étude de la Statique fleurit aux Pays-Bas avec Stevin et en Italie avec Galilée ; mais le premier tiers du XVIIe siècle s'écoule avant qu'aucun écrit important touchant cette branche de la science ait été imprimé en langue française.

Les lecteurs français désireux de s'initier à la Statique et à l'Hydrostatique n'avaient guère à leur disposition (1) que *Les livres de Hierome Cardanus, médecin milanois, intitulés de la Subtilité et subtiles inventions, traduis de latin en françois par Richard le Blanc.* Bien que cet ouvrage fût quelque peu vieilli, ils ne laissaient pas, parfois, d'en faire bon usage.

En 1615, le Normand Salomon de Caux ou de Caus (1576-1630) publie un ouvrage (2) dont l'importance pour

(1) Il va sans dire que le latin était familier à tous les hommes de science et que, grâce à l'emploi de cette merveilleuse langue universelle, les traités composés à l'étranger étaient aisément lus par les mécaniciens français. Notamment, le *Mecanicorum liber* de Guido-Ubaldo parvint de très bonne heure à leur connaissance. En 1599, Henri Monantholius, médecin et professeur de mathématiques, compose un commentaire (*a*) des *Questions mécaniques* d'Aristote. En cet ouvrage, il cite non seulement Cardan et les *Exercitationes* de Scaliger, mais encore, très fréquemment, le traité de Guido-Ubaldo.

(2) *Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines tant utilles que plaisantes aus quelles sont adioints plusieurs desseings de grotes et fontaines*, par Salomon de Caus, Ingénieur et architecte de son Altesse Palatine Électorale. A Francfort, en la boutique de Jean Norton, 1615.

(*a*) *Aristotelis Mechanica græca, emendata, latina facta, et commentariis illustrata* ab Henrico Monantholio, medico, et mathematicarum artium professore regio, ad Henricum IIII, Galliæ et Navarræ regem christianissimum. Parisiis, apud Jeremiam Perier, via Jacobæa, sub signo Bellerophontis. MDXCIX.

l'histoire de la machine à vapeur a été signalée par Arago.

En ce livre, un seul auteur moderne est cité (1) comme ayant écrit sur la Mécanique, et cet auteur est Cardan. C'est à Cardan, d'ailleurs, que sont empruntées en entier les notions d'Hydrostatique et de Statique qui précèdent la description des machines inventées ou perfectionnées par Salomon de Caus. Celui-ci s'est borné à formuler avec ordre et netteté ce que le géomètre astrologue avait énoncé pêle-mêle en son livre étrange.

Ingénieur avant tout, Salomon de Caus remarque presque exclusivement, en la Statique de Cardan, la loi de l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant, loi que Cardan lui-même devait sans doute à Léonard de Vinci.

En un levier, par exemple, les poids qui se font équilibre sont inversement proportionnels aux arcs de cercle qu'un déplacement virtuel fait décrire à leurs points d'application. « Si ceste démonstration (2) estoit bien considérée, plusieurs hommes ne s'abuseroient en la construction de diverses machines, par lesquelles ils pensent faire eslever un grand fardeau par une petite force, ce qui est bien possible comme sera démonstré, mais il faut aussi que la petite force face d'avantage de chemin comme a esté démonstré par la précédente, et par la présente ie démonstrerai qu'il faut que ce mouvement se face en mesme temps. »

Les mêmes remarques sont faites soit à propos du levier, soit à propos des poulies (3) : « Ainsi, si l'on tire 20 pieds de corde, le fardeau ne lèvera que 10. Aussi un homme tirera aussi pesant avec ceste machine comme en feroient deux, si la machine estoit simple : mais les deux hommes tireront en mesme temps le double de la hauteur, savoir 20 pieds, avant que l'autre en aye tiré plus de dix ; et si aux

(1) Au fol. 4, *verso*, et au fol. 5, *recto*.
(2) Salomon de Caus, *Les raisons des forces mouvantes*, fol. 6, *recto*
(3) Id., *ibid.*, fol. 7, *recto*.

moufles il y avait deux poulies, la force serait quadruple, mais aussi ne monterait le fardeau que 5 pieds en tirant 20 pieds de corde.

» Les roues dentelées (2) se font encore avec la mesme raison comme les précédentes, car en augmentant la force, l'on augmente proportionnalement le temps. » Salomon de Caus décrit alors une machine où deux axes C et E de même diamètre portent l'un un pignon de 6 dents, l'autre une roue de 48 dents, égales aux premières et engrenant avec elles. « Il faudra que le dit pignon face 8 tours contre la grande roue un, tellement que si une livre est pendue à l'axe C, elle sera esguallement balancée à 8 livres pendues à l'axe E, moyennant que lesdites axes soyent de pareille grosseur. Ainsi, quand l'on voudrait tirer 400 livres avec ladite axe E, ils ne donneroyent non plus de *travail* à tirer que 50 livres seroyent à l'axe C, aussi le pois monte 8 fois autant en l'axe C comme il ferait estant en l'axe E... tellement qu'un homme seul fera autant de force tirant un fardeau par ceste machine comme huit hommes feroient ayant chacun un axe C ; mais aussi si les huit hommes sont une heure à lever leur pois, l'homme seul sera huit heures à lever le sien. »

Pour la première fois, sans doute, depuis que l'on parle le français, le mot *travail* est prononcé avec le sens qu'il prendra dans la Mécanique de notre temps.

Le pignon à vis, le pressoir donnent encore à Salomon de Caus l'occasion de noter l'égalité qui, en toute machine, relie le travail moteur au travail résistant. Cette loi est empruntée à Cardan ; les exemples sont aussi ceux dont le célèbre astrologue a fait usage.

L'année 1634 marque une date pour l'histoire de la Statique en France. En cette même année, parurent trois livres propres à révéler aux mécaniciens de notre pays

(1) Salomon de Caus, *Les raisons des forces mouvantes*, fol. 7, *recto*.

les découvertes touchant les *Méchaniques* qui avaient vu le jour en d'autres contrées.

C'est en 1634, en effet, que B. et A. Elsevier publièrent à Leyde les *Œuvres mathématiques* de Simon Stevin, traduites, corrigées et augmentées par Albert Girard ; c'est en 1634 que Mersenne fit paraître chez Henry Guenon, à Paris, les *Méchaniques* de Galilée ; c'est en 1634, enfin, que Pierre Herigone fit imprimer, également à Paris, son *Cours mathématique*.

La publication simultanée de ces divers ouvrages fut le signal et, sans doute, l'occasion d'un mouvement puissant qui porta l'attention des géomètres français vers les lois selon lesquelles les poids se peuvent équilibrer ; sollicités par ces problèmes, ces géomètres produisirent des œuvres remarquables qui perfectionnèrent et achevèrent les solutions de leurs prédécesseurs. Ainsi naquit cette École française de Statique dont les premiers maîtres, rivaux l'un de l'autre jusqu'à la passion, furent Roberval et Descartes.

Les livres publiés en 1634 par Girard, par Mersenne et par Herigone nous font connaître les sources d'où ce courant est issu.

A sa traduction des *Méchaniques* de Galilée, Mersenne a joint diverses additions « qui seront aussi agréables que le reste (1), parce qu'elles contiennent de nouvelles spéculations, qui peuvent servir pour pénétrer les secrets de la Physique et particulièrement tout ce qui concerne les mouvements tant naturels que violents ».

En ces additions, c'est au *Mecanicorum liber* de Guido Ubaldo que Mersenne fait les plus fréquents emprunts ; il ne cache pas son admiration pour ce traité : « Ceux qui veulent seulement estudier aux méchaniques (2) doivent lire tout le 8e livre de Pappus, dans lequel il explique

(1) *Les Méchaniques de Galilée*, traduites par L. P. M. M. Espitre *(sic)* à Monsieur de Reffuge, conseiller du Roy au Parlement.

(2) *Les Méchaniques de Galilée*, traduites par L. P. M. M., p. 87.

plusieurs sortes d'instrumens ; et les livres de Guidon Ubalde, qui a le mieux de tous traité de la nature de ces instruments. »

La première addition est consacrée à exposer la notion de moment ; la forme sous laquelle cette notion nous est présentée rappelle fort celle que lui a donnée Giovanni Battista Benedetti ; et il ne serait point surprenant que Mersenne la lui eût empruntée, car, en un autre ouvrage (1), ayant à faire usage de cette même notion de moment, il ajoute à son raisonnement cette mention : « Comme fait Jean Benoist dans son 3e chapitre sur les Méchaniques. »

Pappus, Guido Ubaldo, Benedetti n'ont point seuls inspiré les additions du P. Mersenne aux *Méchaniques de Galilée*. En la Xe Addition, qui clôt le traité, il donne (2) la détermination de la pression exercée par un poids sur un plan incliné : « Lorsque l'on veut sçavoir la force dont le poids F presse le plan BC, il faut prendre la base du triangle AC et la comparer avec l'hypotenuse BC ; d'autant que la pesanteur entière du poids F est à celle par laquelle il presse le plan BC comme CB est à CA. » Ce théorème est une des propositions les plus importantes qu'ait démontrées Stevin ; les *Hypomnemata mathematica* étaient connus de Mersenne avant que Girard ne les eût traduits. Nous aurons du reste, en parlant de l'œuvre de Roberval, à revenir sur cette Xe Addition.

Que Mersenne ait connu l'œuvre de Simon Stevin avant que Girard en eût donné la traduction, nous en trouvons le témoignage et l'aveu dans un des premiers écrits du laborieux Minime.

Les Méchaniques de Galilée sont précédées d'une épître dédicatoire à M. de Reffuge, conseiller du Roy au Parle-

(1) *Seconde partie de l'Harmonie universelle*, par F. Marin Mersenne ; Paris, MDCXXXVII. Nouvelles observations physiques et mathématiques ; Ve observation, p. 17.

(2) *Les Méchaniques de Galilée*, traduites par L. P. M. M., p. 87.

ment, et cette épître débute ainsi : « Puisqu'il y a huict ans que je vous présentay les livres de Méchaniques en latin... »

En effet, en 1626, sous le titre de *Synopsis mathematica* (1), Mersenne avait publié une suite de petits traités. Chacun de ces traités se composait d'une collection de propositions, tirées d'auteurs anciens ou modernes, et reproduites sans aucune figure ni démonstration.

Selon Nicéron (2), l'un de ces traités était intitulé : *Euclides elementorum libri ;* un autre : *Theodosii, Menelai et Maurolyci sphærica et cosmographica.* Ces deux traités manquent dans l'exemplaire de ce très rare ouvrage que nous a communiqué la Bibliothèque municipale de Bordeaux. Cet exemplaire ne contient que trois traités, dont chacun a sa pagination spéciale. L'un de ces traités comprend toutes les propositions que l'on rencontre dans les œuvres d'Archimède ; l'autre, toutes celles qui ont été démontrées par Apollonius au sujet des coniques et par Serenus au sujet des sections du cône et du cylindre ; le troisième, enfin, intitulé *Mechanicorum libri*, est celui dont Mersenne parlait dans son épître à M. de Reffuge.

La préface, empreinte d'idées péripatéticiennes, annonce que presque tous les théorèmes de Mécanique peuvent être ramenés à cet axiome : *Rotunda machina est moventissima, et quo major, eo moventior.* Et Mersenne ajoute : « Quo ad illam divinam sphæram spe erigamur, cujus centrum ubique, circumferentia nullibi esse dicitur ; et quæ tempus ab ævo

Ire jubet, stabilisque manens dat cuncta moveri. »

Cartésien, et non plus péripatéticien, ce n'est plus

(1) *Synopsis mathematica*, ad clarissimum virum D. Jacobum Lætus, Doctorem medicum Parisiensem. Lutetiæ, ex officina Rob. Stephani. MDCXXVI, cum privilegio Regis. — Le privilège royal est accordé au P. Marin Mersenne, religieux minime, dont le nom ne figure pas en titre.

(2) Nicéron, *Mémoires pour servir à l'histoire des hommes illustres*, Paris, 1736, t. XXXIII, p. 150.

Dieu, mais l'univers que Pascal (1) devait un jour nommer « cette sphère infinie, dont le centre est partout et la circonférence nulle part ».

Ces trois livres des Mécaniques nous offrent l'inventaire probablement complet de ce que connaissait en l'an 1626, touchant la Statique, le Français le mieux informé de la science étrangère.

Le livre premier est intitulé : *De gravitatis et Universi centro ;* quatre parties le composent, dont plusieurs seront de grand intérêt en l'étude que contiendra notre Chapitre XV.

La première partie s'inspire fréquemment de Guido Ubaldo ; la seconde est formée de propositions extraites du livre de Commandin sur les centres de gravité des solides ; la troisième reproduit la suite des théorèmes de Luca Valerio sur le même sujet ; enfin, l'ouvrage de J. B. Villalpand sur Jérusalem et son temple, dont nous parlerons au Chapitre XV, a fourni les énoncés de la

(1) Pascal, *Pensées*, édition Havet, art. I, 1. E. Havet dit : « Il est probable que Pascal a pris cette image dans la préface mise par Mademoiselle de Gournay à son édition des *Essais de Montaigne*, de 1635, où elle la cite, d'après Rabelais, sous le nom du Trismégiste. » On voit que, dès 1626, elle était familière à Mersenne, qui fréquentait chez Étienne Pascal. Mersenne lui-même paraît la tenir de Nicolas Müller qui, en 1617, publia une édition annotée du livre de Copernic sur les *Révolutions des orbes célestes*. En ce livre, que Mersenne parait avoir connu, à en juger par certains passages du *Synopsis mathematica*, Nicolas Müller s'exprime ainsi (*a*) : « Forma rotunda omnium capacissima existit, perfectissima, motui aptissima, atque adeo, sola locum replet in quo movetur. Quoniam igitur mundus omnia capere debebat, seipsum motu assiduo conservare, et quidquid loci erat replere, merito formam rotundam illi attribuit summus Opifex ac Demiurgus. Rogatus quidam ut Deum definiret, haud inscite respondit : Deum esse sphæram, cujus centrum sit ubique, superficies nusquam. »

(*a*) Nicolai Copernici Torinensis *Astronomia instaurata, libris sex comprehensa, qui* DE REVOLUTIONIBUS ORBIUM COELESTIUM *inscribuntur* ; nunc demum post 75 ab obitu authoris annum integritati suæ restituta, notisque illustrata, opera et studio D. Nicolai Mulerii, Medicinæ ac Matheseos professoris ordinarii in Nova Academia quæ est Groningæ. Amstelrodami, Excudebat Wilhelmus Jansonius, sub Solari aureo. Anno MDCXVII, p. 1 : Notæ breves, authore Nicolao Mulerio.

quatrième partie, transmis par elle aux mécaniciens qui les reproduiront encore à la fin du XVIIe siècle.

Le troisième livre, *De hydrostaticis et iis quæ ad aquam pertinent*, est, en entier, emprunté à Stevin.

Le second livre est celui qui, pour le moment, nous doit le plus longuement retenir ; il est consacré, comme nous l'apprend Mersenne en sa préface, à relater des propositions dont un bon nombre ont été démontrées par Guido Ubaldo et par Stevin.

Stevin et surtout Guido Ubaldo ont, en effet, fourni la plupart des théorèmes sur la balance et sur le levier que renferme la première partie, les lois des poulies et moufles rapportées en la quatrième partie, la théorie des autres machines à laquelle est consacrée la cinquième partie ; la troisième partie, toute pénétrée de ce qu'il y a de plus obscur et de plus confus dans la Statique péripatécienne, traite *Des applications utiles et merveilleuses du cercle aux Méchaniques*.

La seconde partie mérite d'arrêter un instant notre attention.

Elle est intitulée : *De ponderibus obliquis et de viribus vectis, et libræ et aliarum machinarum ad ea reductarum, ubi et de navigatione et de Quæstionibus mechanicis Aristotelis*.

La fin de cette partie est consacrée à reproduire presque entièrement les *Quæstiones mechanicæ* d'Aristote ; mais tout ce qui précède cette reproduction est emprunté à Stevin.

Non pas que nous ayons ici la liste complète des propositions démontrées par Stevin au sujet du plan incliné et de la composition des forces ; les théorèmes insérés par Stevin dans le *Supplément à la Statique* ne sont nullement mentionnés, soit que Mersenne n'en eût pas encore connaissance, soit qu'il ne les regardât pas comme définitivement assurés.

Mersenne, en effet, ne nous laisse pas ignorer que la

théorie des *poids obliques* était encore loin, en 1626, d'avoir conquis le consentement universel. « Jusqu'ici, dit-il (1), c'est à peine si l'on a pu démontrer quelque chose touchant les poids qui montent ou descendent obliquement. Nous nous contenterons donc, pour le moment, d'énoncer les propositions qui sont accordées par un grand nombre de géomètres. »

La première des propositions ainsi énoncées régit la pesanteur apparente sur un plan incliné. Mersenne la fait suivre (2) de ces réflexions, qui nous montrent combien la démonstration de Stevin était encore loin de satisfaire tous les mécaniciens :

« Stevin prouve cette proposition en montrant que, si elle n'était point vraie, le mouvement perpétuel en résulterait, ce qu'il regarde comme absurde. Mais certains prétendent qu'il s'est trompé en cela, tout comme Pappus... Ils pensent que l'on peut démontrer très clairement la fausseté de cette proposition, ainsi que l'erreur de Pappus. »

Un peu plus loin, Mersenne écrit (3) ces quelques lignes : « Mais tout cela semble reposer sur cet axiome dont, plus haut, j'ai touché un mot : la vitesse de descente de l'un des poids est à la vitesse de descente de l'autre, comme la longueur de l'un des côtés du triangle (4) est à la longueur de l'autre ; en effet, deux descentes sont égales lorsqu'elles correspondent à une même diminution de la distance au centre ; or, plus le côté du triangle ou, ce qui revient au même, plus le plan est oblique, plus aussi ce côté est long ; la descente du corps grave qui suit ce côté en est d'autant plus lente, et d'autant plus lente l'approche vers le centre de l'univers. »

Il est impossible de se méprendre sur le sens de ce pas-

(1) Le P. Marin Mersenne, *Synopsis mathematica, Mechanicorum libri*, p. 137.

(2) Id., *ibid.*, p. 138.

(3) Id., *ibid.*, p. 141.

(4) Le triangle qui a pour côtés la ligne de plus grande pente du plan incliné, la verticale et l'horizontale.

sage ; la démonstration de la loi du plan incliné qui y est esquissée est celle que Galilée indique dans l'écrit *Della Scienza meccanica*, que Mersenne devait traduire en 1634.

Faut-il en conclure que Mersenne eût en mains, dès 1626, un manuscrit du traité de Galilée ? Tout nous porte à écarter cette interprétation. Non seulement le nom de Galilée ne figure pas dans le *Synopsis*, mais, hors le passage que nous venons de citer, nous n'y relevons aucune proposition qui porte la marque du grand géomètre florentin. Enfin, au début de la traduction des *Méchaniques de Galilée*, qu'il donne en 1634, Mersenne écrit à M. de Reffuge : « Puisqu'il y a huict ans que je vous présentay les livres de Méchaniques en latin, et que je fais voir le jour à ce nouveau traitté de Galilée, qui donne de nouvelles lumières à cette science... » Cette phrase semble bien indiquer que le *Della Scienza meccanica* n'est venu à la connaissance de Mersenne qu'après la publication du *Synopsis*.

Il en faut donc conclure que Mersenne est parvenu par ses propres méditations à la théorie du plan incliné que Galilée a imaginée de son côté ; et, à vrai dire, l'invention de cette démonstration n'était guère malaisée ; il suffisait de prendre le raisonnement du Précurseur de Léonard de Vinci, raisonnement que Tartaglia avait publié dans les *Quesiti et inventione diversi*, que Curtius Trojanus avait donné dans le *Jordani opusculum de ponderositate*, et d'y substituer les vitesses aux chemins parcourus, substitution familière aux lecteurs de Guido Ubaldo. Mersenne était donc fort capable de découvrir, à lui seul, la démonstration trop vantée de Galilée.

Ainsi l'argumentation de Simon Stevin n'avait point entièrement supplanté, auprès des géomètres français, l'antique et solide raisonnement construit par l'École de Jordanus. Nous en aurons une nouvelle preuve en étudiant le *Cours mathématique* de Pierre Herigone.

Nous savons peu de choses sur ce mathématicien. Un

épisode de sa carrière de géomètre nous est seul connu. Herigone fit partie d'une commission chargée d'examiner la méthode, proposée par Morin, pour prendre les longitudes en mer; le 30 mars 1634, la commission rejeta le procédé de Morin; cette décision provoqua la publication (1) des *Lettres escrites au Sr Morin par les plus célèbres astronomes de France approuvans son invention des longitudes, contre la dernière sentence rendue sur ce subject par les sieurs Pascal, Mydorge, Beaugrand, Boulanger et Herigone, commissaires députez pour en juger.*

En 1634, Pierre Herigone publia un cours complet de mathématiques en cinq volumes (2). Ce cours était rédigé à la fois en latin et en français ; de plus, les démonstrations étaient exposées au moyen d'abréviations et de symboles, grâce auxquels, selon l'auteur, elles pouvaient « estre entenduës facilement sans l'usage d'aucune langue ». La notation adoptée par Herigone n'a presque aucune analogie avec la notation algébrique usitée de nos jours ; ainsi, là où nous employons les trois signes $=$, $>$, $<$, Herigone écrivait 2/2, 3/2, 2/3.

Ce cours, bien oublié aujourd'hui, eut assurément en son temps une certaine vogue. Le 26 février 1639, Debeaune écrit à Mersenne (3) : « Touchant Mr de Beaugrand, je vous advoue que j'ai beaucoup apris de ceste géométrie de Mr Des Cartes et que je ne sçavois que ce que j'avois apris de l'algèbre d'Herigone. » Après avoir été

(1) A Paris, chez Morin et Libert, 1634.

(2) *Cursus mathematicus, nova, brevi, et clara methodo demonstratus, per notas reales et universales, citra usum cujuscunque idiomatis, intellectu faciles. — Cours mathématique démontré d'une nouvelle, briefve et claire méthode, par notes réelles et universelles, qui peuvent estre entenduës facilement sans l'usage d'aucune langue;* par Pierre Herigone, mathématicien. Paris, MDCXXXIV.

(3) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et P. Tannery; *Correspondance*, t. V, p. 532.

accru de deux suppléments, l'ouvrage de Pierre Herigone dut être réimprimé à Paris, chez Simon Piget, en 1644.

La partie de cet ouvrage qui nous intéresse est le tome troisième du *Cours mathématique, contenant la construction des tables des sinus, et logarithmes, avec leur usage aux intérests, et en la mesure des triangles rectilignes ; la géométrie practique ; les fortifications ; la milice ; et les méchaniques.*

Aucun nom d'auteur n'est cité en la partie du cours qui est intitulée : *Mechanica.—Les Méchaniques.* Cependant, il ne nous est point difficile de reconnaître les influences diverses que Pierre Herigone a subies lorsqu'il a rédigé ce chapitre.

Tout d'abord, l'influence de Guido Ubaldo est en évidence ; le *Mecanicorum liber* est constamment aux mains d'Herigone ; le texte latin de la proposition VI des *Mechanica* reproduit, sans y changer une syllabe, le texte de la huitième proposition consacrée au levier par le marquis del Monte ; c'est également au traité de ce dernier que sont empruntés les divers problèmes sur la balance qui se groupent autour des propositions III et IV.

Des découvertes de Galilée, il ne paraît pas qu'Herigone ait eu la moindre connaissance ; pas une ligne du *Cours mathématique* ne reflète une pensée de l'illustre Florentin. Au contraire, à la Statique de Stevin le géomètre français a fait de larges emprunts ; l'analyse qui va suivre nous le montrera.

Elle nous fera découvrir également une troisième source de la science d'Herigone ; la Statique de l'École de Jordanus ne lui est point demeurée inconnue ; la démonstration de la règle du levier imaginée par Jordanus de Nemore, la démonstration de la loi du plan incliné construite par le Précurseur de Léonard sont parvenues jusqu'à lui et il a su en tirer parti. Comment en a-t-il eu connaissance ? Est-ce par l'étude des *Quesiti et inventioni diverse* de Tartaglia ? Est-ce par la lecture du *Jordani de*

ponderositate édité par Curtius Trojanus ? Est-ce, enfin, par l'examen direct de quelqu'ancien manuscrit ? A ces questions, il nous sera peut-être possible de répondre tout à l'heure, au moins d'une manière vraisemblable.

Le point de départ de la Statique de Pierre Herigone, c'est la loi de l'équilibre du levier ; cette loi, il l'obtient (1) par l'élégante démonstration que Stevin a proposée.

La proposition qui formule cette loi est tout aussitôt suivie de cette autre (2) :

« Aux poids équilibres, comme le plus pesant est au plus léger, ainsi l'espace du plus léger est à l'espace du plus pesant ; ainsi aussi est la perpendiculaire du mouvement du plus léger à la perpendiculaire du mouvement du plus pesant. »

Cette dernière remarque est celle sur laquelle Jordanus a fondé la loi de l'équilibre du levier. Herigone ne la prend point pour fondement de cette loi. Au contraire, de la loi du levier établie à la manière de Stevin, il déduit comme conséquence ce dont Jordanus fait un principe. L'intention qui le porte à présenter ses pensées dans cet ordre est bien manifeste ; il a voulu justifier dans un cas particulier la proposition dont il fera, par la suite, une hypothèse générale : « Aux poids en équilibre, comme le plus pesant est au plus léger, ainsi est la perpendiculaire du mouvement du plus léger à la perpendiculaire du mouvement du plus pesant. »

Cette hypothèse, Léonard de Vinci l'avait, à plusieurs reprises, fort nettement formulée ; mais il la mêlait avec l'hypothèse d'Aristote, où le rapport des *vitesses* virtuelles fait connaître le rapport des poids en équilibre ; Cardan avait moins nettement encore distingué ces deux hypothèses ; Guido Ubaldo, qui les réduisait à n'être plus que des corollaires, s'appliquait à les mettre toujours sur le

(1) Herigone, *loc. cit.*, proposition I.
(2) Id., *ibid.*, proposition II.

même plan ; Stevin, repoussant l'hypothèse d'Aristote, avait réduit le principe de Jordanus à n'être plus qu'une courte remarque mise à la fin de la théorie des moufles, tandis que Galilée reprenait presqu'exclusivement l'énoncé péripatéticien relatif aux vitesses. Pour la première fois donc, depuis le moyen âge, le principe de Jordanus était remis en pleine vigueur.

Ce n'est pas qu'Herigone omît toute allusion au rapport des vitesses virtuelles ; mais cette allusion, il la réduisait à un très court corollaire, subordonné à la proposition précédente et formulé en ces termes :

« *Corollaire* : D'où il appert que le temps du mouvement d'un poids est d'autant plus long que le poids se meut facilement, et d'autant plus court qu'il se meut difficilement, et au contraire. »

C'est la comparaison entre les chemins parcourus, et non la comparaison entre les vitesses, qu'invoque Herigone lorsqu'il veut connaître, en une machine simple, le rapport entre la puissance et la résistance ; témoins ces citations (1) :

« *De la viz infinie.* La proportion de la puissance au poids se trouvera aussi en cet instrument, en supputant les mouvements que font en même temps la puissance et le fardeau.

» *De la multiplication de la puissance de l'agent par le moyen des rouës à dents.* Aux rouës, de mesme qu'aux autres instruments, le poids est à la puissance qui le soustient, comme l'espace de la puissance à l'espace du poids. »

L'application la plus importante que fasse Herigone du principe de Jordanus est la démonstration de la loi du plan incliné. Voici cette démonstration (2) :

« Si la ligne droicte menée du sommet d'un triangle à sa base est perpendiculaire à l'horizon, les poids qui ont

(1) Herigone, *loc. cit.*, propositions XV et XVI.
(2) Id., *ibid.*, proposition VIII.

CB, à cause que l'eau est un corps homogène et qu'il est supposé que le tuyau est de mesme grosseur partout.

» Maintenant, si l'on suppose que la puissance de descendre de l'eau de l'un des costez, par exemple du costé AC, soit plus grande que la puissance de descendre de l'eau de l'autre costé CB, l'eau du tuyau AC descendra, et l'eau du tuyau BC succédera en sa place ; et par ainsi, le tuyau AC sera tousjours plein d'eau ; et aura tousjours plus grande puissance de descendre que l'eau du tuyau CB, et par conséquent le mouvement sera continu, ce qui est absurde. Partant, puisqu'il n'y peut avoir de mouvement perpétuel en l'eau du tuyau, il est nécessaire que la puissance de descendre de l'eau du tuyau AC soit égale à la puissance de descendre de l'eau du tuyau CB, ce qu'il fallait démonstrer. »

Au chapelet de boules considéré par Stevin, Herigone a substitué une colonne liquide, partout de même section ; l'innovation est fâcheuse ; on pourrait, tout aussi bien, supposer que les deux tuyaux AC, BC, fussent de grosseur différente ; l'équilibre du liquide n'en subsisterait pas moins ; si donc la démonstration d'Herigone était concluante, elle permettrait de prouver que, sur deux plans inclinés d'une manière quelconque, deux poids quelconques se tiennent en équilibre.

L'ignorance des lois de l'Hydrostatique qu'Herigone manifeste ici se montre également dans les quelques pages, intitulées *Les principes ou axiomes des spiritales*, qu'il leur consacre à la fin de ses *Méchaniques* ; il n'a point su emprunter à Stevin la connaissance exacte des propriétés des fluides,

Ce n'est pas, à coup sûr, en lisant l'Hydrostatique de Stevin qu'Herigone avait conçu l'idée de modifier, assez malheureusement d'ailleurs, la théorie du plan incliné donnée par le grand géomètre de Bruges. Nous pouvons supposer, avec une très grande vraisemblance, que cette

modification lui a encore été suggérée par un auteur du XIIIe siècle.

Nous avons vu qu'Herigone avait sûrement connu le traité de Mécanique composé, dès cette époque, par le Précurseur de Léonard de Vinci. Or, un des textes (1), copiés au XIIIe siècle, qui nous ont fait connaître ce traité présente une particularité intéressante ; au bas de la page où la première partie du traité se termine par la belle solution du problème du plan incliné qu'Herigone a reproduite, un annotateur, qui écrivait aussi au XIIIe siècle, a apposé ce qui suit :

« Remarquez qu'une conséquence découle nécessairement de la dernière proposition de cette partie : Que l'on prenne deux canaux de même grosseur, entièrement semblables ; qu'on les réunisse de telle sorte qu'ils fassent un angle ; qu'on les remplisse d'eau ; enfin que l'on mette une des extrémités en rapport avec une masse d'eau et cela, de telle sorte que les deux extrémités se trouvent à une même distance du plan horizontal. L'eau se tiendra en équilibre et ne descendra pas. Si l'on abaisse un peu au dessous de la ligne équidistante à l'horizon l'extrémité qui ne plonge pas dans l'eau, l'eau coulera de ce côté. Il suit donc de là que, par le moyen de tels instruments, l'eau ne peut ni descendre en un lieu plus élevé que sa propre origine, ni en un lieu de même hauteur ; il faut nécessairement qu'il soit plus bas. »

Rapprochée de la solution du problème du plan incliné donnée par Stevin, cette théorie du siphon fournissait de suite la démonstration imaginée par Herigone. Il semble donc entièrement vraisemblable qu'Herigone avait lu le passage que nous venons de citer.

On en est encore mieux convaincu lorsqu'on examine le peu qu'il a écrit sur l'Hydrostatique ; parmi les *Principes ou axiomes des spiritales*, nous trouvons celui-ci, qui

(1) Bibliothèque Nationale. Ms. n° 8680 A (fonds latin).

porte le numéro III : « L'eau du tuyau dont la perpendiculaire est plus longue pèse plus que l'eau du tuyau dont la perpendiculaire est plus courte. » Et plus loin, parmi les *Conséquences*, nous lisons : « Du troisième axiome s'ensuit, que si ABC (fig. 80) est un siphon plein d'eau, dont l'extrémité A soit plongée dans l'eau du vaisseau DF, et l'autre extrémité C soit plus basse que l'extrémité A, tout l'eau de vaisseau DF qui sera plus haute que l'extrémité A sortira par le siphon ABC. »

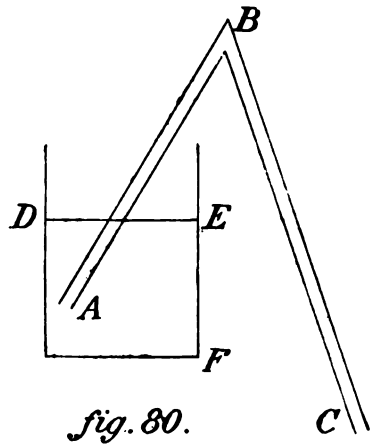

fig. 80.

Visiblement, les connaissances d'Herigone au sujet du siphon sont les mêmes que celles de notre annotateur du XIIIe siècle.

Herigone a donc beaucoup emprunté, lorsqu'il a rédigé son *Cours mathématique*, aux Mécaniciens de l'École de Jordanus. Il a grandement contribué à répandre leur principe le plus fécond parmi les géomètres du XVIIe siècle. C'est, sans doute, par lui surtout que ce principe est parvenu à la connaissance de Descartes, qui l'a pris pour fondement de la Statique tout entière.

C'est de Stevin qu'Herigone tient les diverses propositions dont il nous reste à parler.

La première est un corollaire de la théorie du plan incliné ; avec quelle force ce plan est-il pressé par le poids qu'il porte ? La réponse (1) est celle qu'a donnée Stevin : « D'ici il appert que la pesanteur du poids D (fig. 81) à la pesanteur par laquelle il presse la ligne AC est comme AC à AF. » De cette proposition exacte Stevin n'avait point donné de démonstration convaincante ; Herigone va-t-il être plus heureux ? Au plan incliné AC, il associe un second plan incliné BC qui lui soit perpendiculaire, et dit : « Puisque le poids D presse contre le côté AC autant

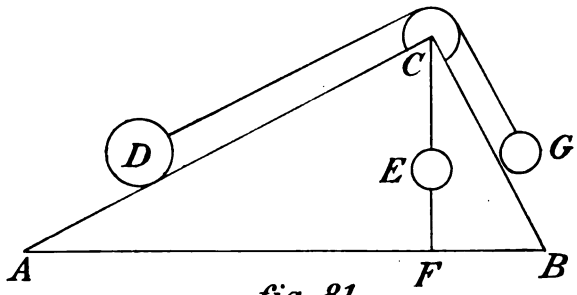

fig. 81.

que le poids G tire la ligne CG, et que le poids E pèse autant que le poids G tire CG, la vérité du corollaire est manifeste. » Ce n'est pas même un semblant de démonstration.

On peut soutenir le poids D sur le plan AC (fig. 82) par une traction exercée suivant la ligne DL, parallèle aux lignes de plus grande pente du plan ; mais on peut également exercer la traction Q suivant la ligne DP qui fait, au-dessus de DL, l'angle DPL ; ou bien encore la traction H, suivant la ligne DI qui fait, au-dessous de DL, l'angle LDI. Quelle règle fera connaître les poids Q, H ? Cette règle, Stevin l'avait exactement formulée, sans pouvoir l'établir par un raisonnement satisfaisant. Heri-

(1) Herigone, *loc. cit.*, proposition VIII, corollaire.

gone la postule (1) purement et simplement. Il mène le plan incliné BC qui fait, avec la verticale CE, un angle BCE égal aux angles PDL, LDI et il admet que les poids Q, H sont tous deux égaux au poids G capable, en glissant sur le plan BC, de faire équilibre au poids D.

De ces propositions relatives au plan incliné, Stevin avait montré comment on peut tirer la règle selon laquelle se composent deux forces concourantes ; cette règle, Herigone la donne également (2).

Le *Cours mathématique* d'Herigone a certainement

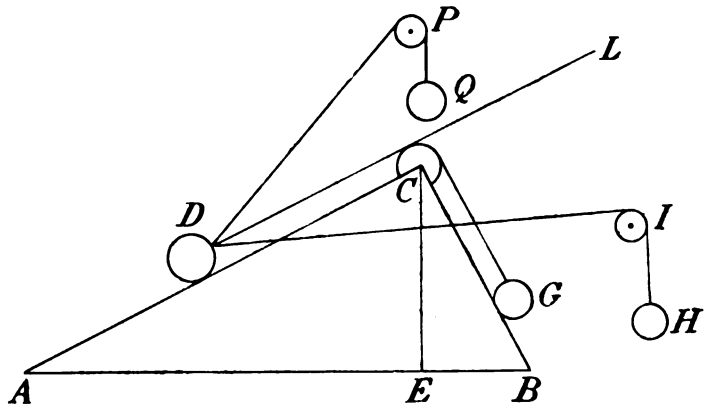

fig. 82.

contribué, à un très haut degré, à publier les plus importantes découvertes que Stevin ait faites en Physique. Aussi le nom d'Herigone se trouve-t-il associé à celui de Stevin soit par Borelli qui attaque (3) la loi de composition des forces donnée par le géomètre de Bruges, soit par Varignon, qui la défend (4).

(1) Herigone, *loc. cit.*, p. 306.

(2) Herigone, *loc. cit.*, proposition XII.

(3) Joh. Alphonsi Borelli neapolitani, matheseos professoris, *De motu animalium* ; Pars prima, Cap. XIII, Digressio ad Propositionem LXIX ; Romæ, MDCLXXX.

(4) Varignon, *Nouvelle Mécanique ou Statique* dont le projet fut donné en MDCLXXXVII. Tome second, p. 453. Paris, MDCCXXV.

Mais Herigone n'ajouta rien à ce que Stevin avait démontré ; il laissa béantes les lacunes que présentaient les déductions de son illustre prédécesseur. Roberval allait les combler.

2. *Gilles Persone de Roberval (1602-1675)*

Une seule fois, en sa vie, Roberval fit imprimer un livre qui fût exclusivement consacré à l'un de ses écrits ; encore, n'osa-t-il point s'avouer pleinement l'auteur de cet ouvrage ; il feignit de le donner pour la publication d'un antique traité composé par Aristarque de Samos et il ne réclama pour lui-même que le rôle d'éditeur et d'annotateur (1). Pour découvrir ses travaux sur la Statique, il les faut chercher parmi les écrits du P. Mersenne.

Marin Mersenne (1588-1648) est une des plus curieuses figures de la première moitié du XVIIe siècle. Après avoir été condisciple de Descartes au Collège de la Flèche, il avait pris l'habit religieux dans l'ordre des Minimes. Doué d'une infatigable activité, d'un amour passionné pour les sciences, il entretenait une incessante correspondance avec tous les géomètres et tous les physiciens que la France comptait à cette époque. Cette correspondance tenait vraiment, dans le monde intellectuel de ce temps, le rôle que joue aujourd'hui la presse scientifique. Par elle, un continuel commerce d'idées s'établissait entre la capitale et la province, un constant échange de découvertes et de controverses mettait en rapport les géomètres

(1) *Aristarchii Samii de Mundi systemate, partibus et motibus cujusdem, libellus*. Adjectæ sunt Æ. P. de Roberval, Mathem. Scient. in Collegio Regio Franciæ professoris, notæ in eundem libellum. Parisiis, sumptibus vir. ampliss. Vœneunt apud Antonium Bertier, viâ Jacobeâ, sub signo Fortunæ ; MDCXLIV.

Une deuxième édition est insérée dans : *Novarum observationum physico-mathematicarum* F. Marini Mersenni, Minimi, tomus III ; quibus accessit *Aristarchus Samius, de Mundi Systemate* ; Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, viâ Jacobeâ, sub signo Fortunæ ; MDCXLVII.

de Paris. Étienne et Blaise Pascal, Beaugrand, Roberval, avec le Lyonnais Des Argues, avec Fermat, conseiller au parlement de Toulouse, avec Jean Rey, médecin au Bugue en Périgord, enfin avec Descartes, retiré au fond de la Hollande, en un volontaire et orgueilleux exil. En ses nombreux livres, dont la plupart étaient consacrés à l'Acoustique et à la Musique, il accueillait, pour les répandre, les recherches les plus diverses, mais particulièrement celles qui concernaient la Physique et la Mécanique ; non seulement il y exposait les trouvailles de ses compatriotes, de Fermat, de Roberval, de Descartes, mais encore il y rendait compte de mainte œuvre étrangère ; il contribua grandement à faire connaître en France les progrès accomplis en Statique, en Hydrostatique, en Dynamique par Simon Stevin, par Giovanni-Battista Benedetti, par Guido Ubaldo, par Villalpand, par Galilée ; c'est grâce au P. Mersenne, enfin, que Blaise Pascal connut l'expérience du vif-argent, accomplie par Torricelli.

Dès 1627, le P. Marin Mersenne avait publié (1) un *Traité de l'Harmonie universelle, où est contenuë la musique théorique et pratique des anciens et modernes*. En 1634, en même temps qu'il donnait la traduction des *Méchaniques* de Galilée, il produisait (2) les *Préludes de l'Harmonie universelle, ou questions curieuses, utiles aux prédicateurs, aux théologiens, aux astrologues, aux médecins et aux philosophes*.

L'année 1636 vit paraître à Paris, chez Guillaume Baudry, les *F. Marini Mersenni, ordinis Minim., Harmonicorum libri*, dont la seconde partie s'intitulait : *Harmonicorum instrumentorum libri IV*. Ornés d'une nouvelle dédicace et d'une préface, reliés ensemble sous un nouveau

(1) Cf. Nicéron, *Mémoires pour servir à l'histoire des hommes illustres*, Paris, 1736 ; t. XXXIII, p. 150.

(2) A Paris, chez Henry Guenon, ruë S. Jacques, près les Jacobins, à l'image S. Bernard, MDCXXXIV.

frontispice, ces deux volumes étaient vendus de nouveau en 1648, comme une *editio aucta*, sous le titre : *Harmonicorum libri XII.*

Mais auparavant, les *Harmonicorum libri*, traduits en français et enrichis de diverses additions, avaient fourni la matière d'un volumineux traité dont le premier tome parut à Paris, en 1636, sous le titre d'*Harmonie universelle*, dont le second tome fut imprimé en 1637 sous le titre de *Seconde partie de l'Harmonie universelle* (1).

C'est en la première partie de l'*Harmonie universelle* (2) que se trouve inséré, avec une pagination spéciale, le *Traité de Méchanique ; des poids soustenus par des puissances sur les plans inclinez à l'horizon ; des puissances qui soutiennent un poids suspendu à deux chordes ; par G. Pers. de Roberval, Professeur royal ès Mathématiques au Collège de Maistre Gervais, et en la chaire de Ramus au Collège Royal de France.*

Les seuls auteurs que Roberval cite en ce petit traité sont « Archimède, Guid-Ubalde et Luc Valère » ; à ceux-là, cependant, il n'a presque rien emprunté ; selon le fâcheux usage du temps, ceux dont il s'est inspiré, il s'est

(1) On trouve une notice très détaillée sur les *Harmonicorum libri*, et sur l'*Harmonie universelle* de Mersenne dans Brunet, *Manuel du Libraire et de l'Amateur de livres*, 5e édition, 1862, article Mersenne, p. 1662. Cette notice est due à M. Paulin Richard, de la Bibliothèque Nationale. Les exemplaires que possède la Bibliothèque municipale de Bordeaux nous ont permis de contrôler la minutieuse exactitude de cette notice. — Certaines parties de l'*Harmonie universelle* furent imprimées, ou du moins composées, avant 1636. A la dernière page de sa traduction des *Méchaniques de Galilée*, imprimée en 1634, Mersenne renvoie à un passage de la première partie de l'*Harmonie universelle*.

(2) Cette partie étant celle qui nous intéresse particulièrement, nous en donnons le titre complet :

Harmonie universelle, contenant la théorie et la pratique de la Musique, où est traité de la nature des sons, et des mouvemens, des consonances, des genres, des modes, de la composition, de la voix, des chants, et de toutes sortes d'instrumens harmoniques ; par F. Marin Mersenne, de l'ordre des Minimes. A Paris, chez Sébastien Cramoisy, Imprimeur ordinaire du Roy, ruë S. Jacques, aux Cicognes. MDCXXXVI.

bien gardé d'en faire mention. Nous pouvons aisément suppléer à ce silence.

En premier lieu, Roberval connaissait assurément, et fort bien, la *Statique* de Simon Stevin ; son *Traité de Méchanique* est comme un complément apporté à cette œuvre capitale ; il a pour unique objet de prouver d'une manière convaincante les propositions que le géomètre de Bruges avait énoncées sans démonstration suffisante.

En second lieu, Roberval est également en possession des méthodes employées par Galilée en sa *Mécanique ;* le

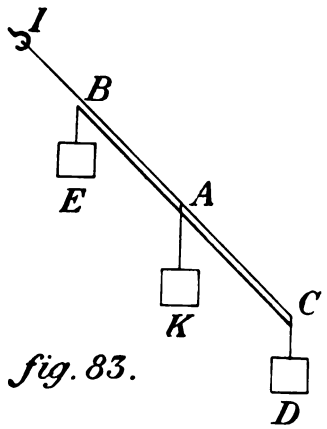

fig. 83.

procédé par lequel il justifie les propositions que Stevin n'avait pas su déduire de ses principes est imité, de très près, de celui par lequel Galilée avait ramené le problème du plan incliné au problème du levier.

Enfin, il introduit la notion de moment d'une manière qui rappelle les raisonnements de Giovanni-Battista Benedetti ; il avait assurément lu cet auteur que, vers la même époque, Mersenne suivait et citait.

Le petit traité de Roberval — il n'a que 36 pages — est un saisissant exemple de cette fausse rigueur à laquelle se laissent trop souvent prendre les physiciens épris de la méthode géométrique ; un grand luxe d'axiomes, un appa-

reil déductif savant et compliqué ne servent parfois qu'à dissimuler certaines hypothèses essentielles ; et il n'est pas rare que celles-ci consistent, ou à peu près, à admettre ce qui est en question.

Ainsi, Roberval admet qu'il revient au même, pour l'équilibre du levier à bras égaux CAB (fig. 83), que les deux poids A et D soient fixement attachés en B et en C ; ou bien que le poids D soit tenu par une corde qui glisse sur le bras de levier AC, passe en A sur une petite poulie et porte un second poids K ; ou bien que cette corde, prolongée au delà de B, y soit retenue par un crochet I ; ou bien, enfin, que ce poids C repose sur un plan incliné normal à AC. Épargnant au lecteur l'embarras de préliminaires absolument inutiles, Roberval aurait pu, à l'exemple de Galilée, admettre d'emblée cette dernière supposition ; en effet, elle fournit sans peine la solution des problèmes qu'il se propose d'examiner. Il aurait pu aussi, fondant en un seul postulat ses axiomes multiples, admettre que deux liaisons distinctes, appliquées à un même poids, sont équivalentes lorsque la trajectoire virtuelle que l'une d'elles trace à ce poids est tangente au chemin virtuel que l'autre lui impose. Roberval use de certaines conséquences fournies par ce postulat, comme l'ont fait avant lui Léonard de Vinci et Galilée, mais il laisse à Descartes le soin de l'énoncer explicitement et sous une forme générale.

Si l'on admet qu'il revient au même, pour un poids D, d'être assujetti à glisser sur le plan incliné AB (fig. 84) ou d'être attaché à l'extrémité D du bras de levier CD, normal à AB, et mobile autour du point C, il devient extrêmement aisé de résoudre les deux problèmes que Roberval énonce ainsi (1) :

« Proposition I. *Estant donné un plan incliné à l'horizon, et l'angle de l'inclination estant cogneu, trouver une puissance, laquelle tirant, ou poussant par une ligne de*

(1) G. P. de Roberval, *Traité de Méchanique*, pp. 7 et 13.

direction parallèle au plan incliné, soustienne un poids donné sur le mesme plan.

» PROPOSITION II. *Quand la ligne de direction par laquelle soustient un poids sur un plan incliné n'est pas parallèle au même plan, l'inclination du plan et le poids estant donnés, trouver la puissance.* »

Pour résoudre ces problèmes, en effet, il suffit d'appliquer la loi générale de l'équilibre d'un *circonvolubile*, que Benedetti a sans doute empruntée à Léonard de Vinci,

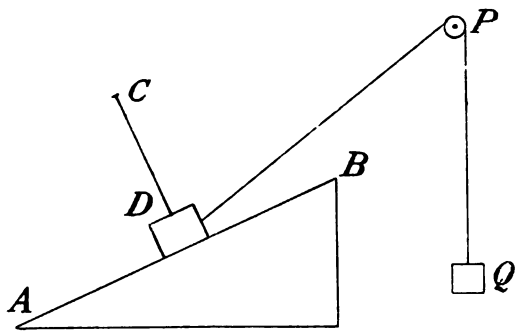

fig. 84

et d'écrire que le poids vertical D a même moment par rapport au point C que la traction Q, dirigée suivant DP ; et c'est bien, en effet, cette solution que donne Roberval, non sans l'embarrasser de détours inutiles.

Aux deux précédents problèmes se ramène sans peine une troisième question que Roberval énonce (1) sous la forme suivante :

« PROPOSITION III. *Estant donné un poids soustenu par deux chordes, ou par deux appuys, desquels la position soit donnée, trouver quelle puissance il faut à chacune chorde, ou à chacun appuy.* »

1) G. P. de Roberval, *Traité de Méchanique*, p. 21.

Roberval traite ce problème de la décomposition d'une force par le procédé suivant :

La corde AB (fig. 85) est fixée à un arrêt en A. Quelle traction Q faut-il exercer sur la corde C pour maintenir en équilibre le poids P ?

D'après les axiomes que Roberval a formulés sur l'équivalence des liaisons, au lieu de supposer le poids P retenu par la corde AB, on peut imaginer qu'il glisse sur un plan incliné normal à AB. La solution cherchée se tire

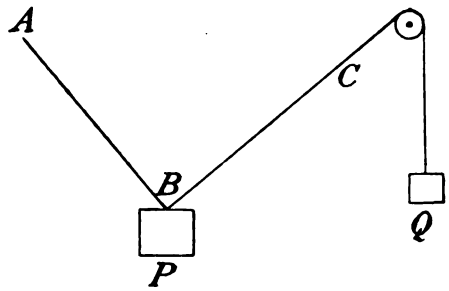

fig. 85.

alors immédiatement de celles qui ont été précédemment données.

Cette solution entraîne diverses conséquences que Roberval formule (1) en ces termes :

« *Corollaire.* On remarquera donc qu'en tous les cas, on tire de chacune puissance deux perpendiculaires, l'une sur la ligne de direction du poids, l'autre sur la chorde de l'autre puissance ; et que dans les raisons du poids aux puissances, le poids est homologue aux perpendiculaires tombantes sur les chordes des puissances, et les puissances sont homologues aux perpendiculaires tombant sur la ligne de direction du poids...

(1) G. P. de Roberval, *Traité de Méchanique*, pp. 24, 27 et 28.

« *Scholie II.* En ce second scholie, nous démonstrerons, en général, qu'en quelque disposition que soient le poids et les puissances qui se soustiennent sur deux chordes, pourveu que les chordes ne soient pas entre elles en ligne droite, le poids et les deux puissances sont toujours homologues aux trois costez d'un triangle...

» Que si de quelque point pris en la ligne de direction du poids, on mène une ligne parallèle à l'une des chordes jusques à l'autre chorde, le triangle formé de cette parallèle, de la ligne de direction et de la chorde, sera semblable au triangle susdit, et par conséquent seront homologues au poids et aux deux puissances ; ce qu'un géomètre prouvera facilement, avec plusieurs autres propriétez que nous laissons. »

Voilà donc, nettement énoncées et démontrées, les règles de la composition des forces que Stevin avait formulées, mais qu'il n'avait pu étayer de démonstrations convaincantes. Roberval a construit sa preuve en ramenant l'équilibre d'un poids soutenu par une corde à l'équilibre d'un poids glissant sur un plan incliné, et ce dernier à l'équilibre d'un poids pendu à l'extrémité d'un bras de levier ; il eût fort bien pu épargner un intermédiaire inutile et éviter la considération du plan incliné ; il eût réduit immédiatement l'équilibre d'un poids soutenu par des cordes à l'équilibre d'un poids pendu à l'extrémité d'un bras de levier. La démonstration plus directe qui eût été composée de la sorte eût présenté une grande analogie avec celle que Léonard de Vinci avait proposée (1).

A ne considérer que ce qu'il y a d'essentiel en toutes deux, la démonstration de Roberval et celle de Léonard de Vinci se confondent ; celle-ci a sur celle-là l'avantage d'être plus immédiate, d'éviter plus parfaitement les détours oiseux.

Léonard, nous l'avons vu, avait malencontreusement

(1) Cf. Chapitre VIII, 2.

abandonné la loi de la composition des forces dont il avait donné une si ingénieuse démonstration. Il a fallu les efforts successifs de Stevin et de Roberval pour retrouver la vérité qu'il avait laissé échapper, après l'avoir un instant tenue entre ses mains.

Roberval n'a pas donné seulement de la composition des forces la démonstration que nous venons d'analyser, il en a également fait connaître une autre ; l'importance

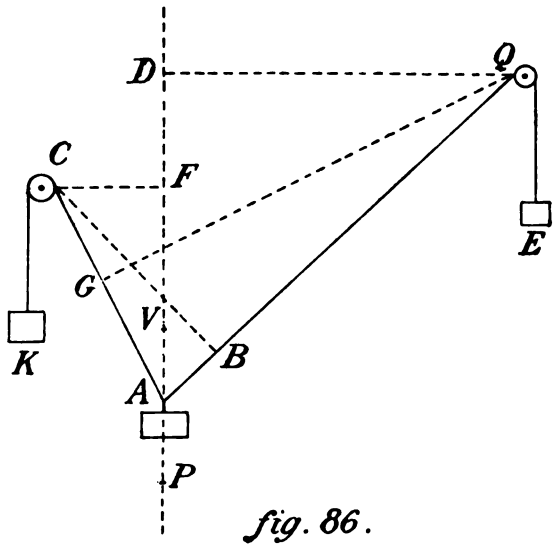

fig. 86.

de cette preuve nouvelle, aussi bien que la rareté du livre où elle est consignée, nous engage à rapporter en entier ce qu'en dit (1) notre géomètre :

« *Scholie VIII.* — Nous avons remarqué sur le subject d'un poids pendu à deux chordes, une chose qui nous a pleu beaucoup ; laquelle est telle que, quand le poids est ainsi soustenu par deux puissances, les raisons estant comme il a esté démonstré en la 3e proposition, le poids ne peut monter ny descendre que la proportion réci-

(1) G. P. de Roberval, *Traité de Méchanique*, p. 35.

proque des chemins avec le poids et les puissances ne soit changée, et contre l'ordre commun ; comme si le poids est posé en A (fig. 86) sur les chordes CA et QA soustenuës par les puissances C, Q, ou K, E, le poids estant aux puissances comme les perpendiculaires CB et QG sont aux lignes CF et QD, ainsi il a esté dit en la 3. prop.

» Si au dessus du poids A, dans sa ligne de direction, on prend quelque ligne comme AP, il arrivera que si le poids A descend jusques en P, tirant avec soy les chordes et faisant monter les puissances K, E, il y aura réciproquement plus grande raison du chemin (1) que les puissances feront en montant au chemin que le poids fait en descendant, que du même poids aux deux puissances prises ensemble ; ainsi les puissances monteroient plus à proportion que le poids ne descendroit en les emportant, qui est contre l'ordre commun.

» Que si au dessus du poids A, dans sa ligne de direction, on prend une ligne comme AV, et que le poids monte jusques en V, les chordes montant aussi, emportées par les puissances K, E, qui descendent, il y aura réciproquement plus grande raison du chemin que le poids fera en montant, au chemin que les puissances feront en descendant que des deux puissances prises ensemble au poids ; ainsi le poids monteroit plus à proportion que les puissances ne descendroient en l'emportant, ce qui est encore contre l'ordre commun, dans lequel le poids ou la puissance qui emporte l'autre, fait toujours plus de chemin à proportion que le poids ou la puissance qui est emportée.

» Or que les raisons des chemins que feroient le poids A et ses puissances, en mòntant et descendant, soient telles que nous venons de dire, et contre l'ordre commun, on en trouvera la démonstration dans nos Méchaniques, car elle est trop longue pour estre mise ici. Partant le

(1) Les deux puissances décrivent des chemins différents ; Roberval veut assurément parler d'un chemin *moyen*, qui serait le chemin du centre de gravité des deux poids K, E.

poids A, en subsistant et demeurant en son lieu, par les raisons de la 3. prop., demeure ainsi dans l'ordre commun, ce que nous voulions remarquer. »

Cette démonstration de la règle suivant laquelle deux forces se composent est tirée de la comparaison entre le *travail* des puissances et le *travail* de la résistance, pour employer le mot par lequel la Mécanique moderne désigne le produit d'un poids par la hauteur de sa chute.

Cette comparaison, nous l'avons vue servir dès le XIIIe siècle à justifier certaines lois de Statique ; Jordanus de Nemore en a tiré la démonstration de la condition d'équilibre du levier, connue depuis si longtemps ; son continuateur, le Précurseur de Léonard de Vinci, en a fait usage pour obtenir la première solution satisfaisante du problème du plan incliné.

En ces deux cas, la comparaison entre le travail de la puissance et le travail de la résistance conduit à un résultat très simple ; quel que soit le déplacement virtuel que l'on impose au mécanisme étudié, il y a, lorsque les conditions d'équilibre sont remplies, égalité entre le travail moteur et le travail résistant. Cette relation si simple dépend d'une autre particularité présentée par les mêmes mécanismes : leur équilibre est un équilibre *indifférent*.

Lorsque l'on considère un mécanisme dont l'équilibre est *stable*, la comparaison entre le travail moteur et le travail résistant qui accompagnent un déplacement virtuel ne conduit plus à un résultat aussi simple ; il n'y a plus égalité entre ces deux travaux ou, du moins, cette égalité ne se retrouve plus qu'entre travaux *infiniment petits* correspondant à un déplacement virtuel *élémentaire*.

Les géomètres dont nous étudions l'œuvre, aussi bien les élèves de Jordanus que Roberval, ne considèrent que des déplacements *finis* ; dès lors, leur analyse doit se compliquer quelque peu lorsqu'il s'agit d'établir les conditions d'équilibre stable d'un mécanisme ; il leur faut montrer qu'en tout déplacement de ce mécanisme, le travail des

poids qui montent est plus grand en valeur absolue que le travail des poids qui descendent.

De cette méthode, le Précurseur de Léonard de Vinci avait donné un fort élégant exemple lorsqu'il avait établi la loi d'équilibre de deux poids suspendus aux extrémités des bras d'un levier coudé. Roberval, dans le passage que nous venons de citer, en a fait une seconde application qui ne le cède pas à la première.

Roberval connaissait-il l'usage qui, dès le XIIIe siècle, avait été fait du même procédé de démonstration ? Nous ne saurions répondre à cette question d'une manière catégorique. Rien ne nous empêche d'admettre qu'il ait ignoré la démonstration de la loi d'équilibre du levier coudé donnée par le Précurseur de Léonard de Vinci ; Tartaglia, en effet, n'avait pas reproduit cette démonstration dans ses *Quesiti et inventioni diverse ;* elle se trouvait reproduite dans un seul ouvrage imprimé, le *Jordani opusculum de ponderositate* publié par Curtius Trojanus ; et elle y était si brouillée, si méconnaissable que le lecteur était excusable de ne l'y point remarquer.

D'autre part, nous avons vu qu'Herigone avait probablement eu en sa possession un manuscrit renfermant le traité du Précurseur de Léonard ; il ne serait pas invraisemblable que ce même manuscrit eût été connu de Roberval.

Le passage que nous avons cité résume la démonstration de Roberval ; il ne l'expose pas en entier ; Roberval nous apprend que l'on trouve la démonstration complète dans ses « Méchaniques ». De cette indication, d'une indication analogue insérée en l'exposé de la proposition III, nous devons conclure que le *Traité de Méchanique* inséré en 1636, par Roberval, dans l'*Harmonie universelle* de Mersenne est un extrait d'un traité plus étendu qu'il avait publié auparavant.

Mersenne, d'ailleurs, en la première partie de l'*Harmonie universelle*, à laquelle est accolé le *Traité de Mécha-*

nique de Roberval, étudie (1), d'après le Dialogue de Galilée sur les grands systèmes du monde, les lois de la chute accélérée des corps pesants. La proposition X de la théorie qu'il expose est ainsi formulée : *Le plan estant incliné à l'horizon d'un angle donné, déterminer la force qui peut soutenir le poids donné sur ledit plan.* La démonstration donnée par Mersenne est exactement celle que Roberval donnera dans le même volume, un peu plus loin ; les figures employées sont les mêmes. Or, Mersenne fait suivre l'énoncé que nous venons de rapporter de cette remarque : « Je n'eusse pas ici mis cette proposition si elle eust esté en francais, et si le livret où elle est eust esté commun ; quoiqu'elle mérite d'estre en plusieurs lieux pour la grande utilité qu'on en peut tirer ».

Nous recevons de là confirmation que les démonstrations mécaniques de Roberval avaient été déjà publiées avant l'impression de l'*Harmonie universelle ;* mais nous apprenons, en outre, que cette publication avait été faite en latin et que le livre qui la contenait était déjà fort rare en 1634.

Cette dernière circonstance explique comment nous n'avons pu trouver aucune mention de cet ouvrage dans les divers recueils bibliographiques mis à notre disposition, ni dans les divers catalogues de bibliothèques que nous avons pu consulter.

Mais il nous est permis d'affirmer que ce traité de Mécanique de Roberval existait dès 1634 et que Mersenne en avait dès lors connaissance. A cette époque, en effet, Mersenne publia *Les Méchaniques de Galilée.* En la Xe addition qui termine cet écrit, Mersenne traite de la pesanteur apparente sur un plan incliné « dont, dit-il,

(1) Marin Mersenne, *Harmonie universelle. A. Traitez de la nature des sons, et des mouvements de toutes sortes de corps.* Livre second. Des mouvements de toutes sortes de corps. Paris, MDCXXXVI. Cette proposition, et le livre de l'*Harmonie universelle* qui la renferme, sont cités par Mersenne à la dernière page des *Méchaniques de Galilée*, c'est-à-dire dès 1634.

j'ay parlé fort amplement dans le dix et l'onziesme théoresme du second livre de l'Harmonie universelle ». L'exposé des démonstrations de Roberval était donc, dès cette époque, mis sous la forme où, en 1636, il devait paraître dans l'*Harmonie universelle*. Nous savons, d'ailleurs (1), que dès 1634, Mersenne travaillait à cet ouvrage.

La première rédaction des *Discorsi et dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, composée par Galilée en 1636 et imprimée chez les Elzévirs en 1638, ne se composait que de trois journées ; les trois dernières

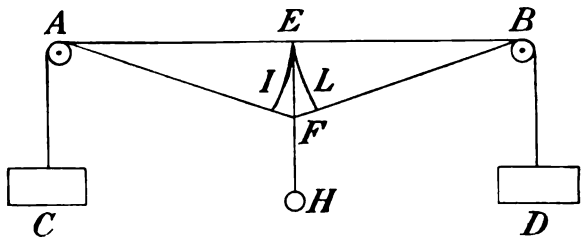

fig. 87.

journées furent ajoutées par Galilée entre 1636 et le moment de sa mort ; elles parurent seulement en 1655, dans l'édition des œuvres de Galilée donnée par Viviani. Ces additions ont donc pu subir l'influence du *Traité de Mécanique* de Roberval. C'est peut-être à cette influence qu'il convient d'attribuer un passage par lequel se termine la *Giornata quarta*.

Galilée — ou Sagredo, qui parle en son nom — considère une corde sans poids AB (fig. 87) que tendent deux charges C, D, très considérables et égales entre elles. Il

(1) *Les Préludes de l'Harmonie universelle*, ou Questions curieuses, utiles aux prédicateurs, aux théologiens, aux astrologues, aux médecins et aux philosophes. Composées par L. P. M. M. (le Père Marin Mersenne). A Paris, chez Henry Guenon, ruë S. Jacques, près les Jacobins, à l'image S. Bernard. MDCXXXIV. — Préface au lecteur : « J'ay donné le nom de Préludes à ce Livre, parce qu'il a quasi le mesme rapport aux traitez de toutes les autres parties de la Musique que je donneray bientost avec l'ayde de Dieu que les préludes du luth... »

veut prouver que si l'on suspend au milieu de la corde AB un poids H, si petit soit-il, il fera prendre à la corde la forme d'une ligne brisée AFB et, par conséquent, soulèvera les deux poids C et D, si grands soient-ils.

Le poids H, en effet, descend de la longueur EF, tandis que les poids C, D montent de longueurs respectivement égales à IF, FL et égales entre elles. Or, on peut assurément prendre EF assez petit pour que le rapport de EF à IF surpasse le rapport du poids H au poids C. « Il y a donc plus grande proportion de la chute ou de la vitesse du poids H à l'ascension ou à la vitesse des poids C, D que de la gravité des poids C, D à la gravité du poids H ; il est donc manifeste que le poids H descendra et que la corde quittera la position horizontale. »

Si Galilée, en écrivant ce passage, connaissait le *Traité de Méchanique* de Roberval, il s'en faut de beaucoup qu'il ait égalé la belle démonstration que renfermait ce traité.

L'article que le *Dictionnaire historique et critique* de Bayle consacre à Roberval se réduit à ces seules lignes : « Roberval, Professeur en Mathématiques à Paris, contemporain de Mr Des Cartes, et son grand ennemi. »

L'animosité était grande, en effet, entre le philosophe et le professeur du Collège de France (1); le premier traitait le second avec un mépris et une violence dont nous trouverons des preuves au prochain Chapitre ; dès maintenant, citons cet extrait d'une lettre adressée par Descartes à Mersenne (2) :

« Je vous envoye ici quelques-unes des fautes que j'ai remarquées dans l'Aristarque, et je vous diray icy, entre nous, que j'ay tant de preuves de la médiocrité du sçavoir et de l'esprit de son autheur, que je ne puis assez admirer qu'il se soit acquis à Paris quelque réputation. Car enfin

(1) Cf. : Paul Tannery, *La Correspondance de Descartes dans les inédits du fonds Libri*; Paris, 1893.

(2) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. IV (juillet 1643 à avril 1647), p. 391.

outre son invention de la roulette, qui est si facile qu'elle aurait pu estre trouvée par une infinité d'autres aussi bien que par luy, s'ils se fussent voulu employer à la chercher, je n'ay jamais rien veu de sa façon, qui ne puisse servir à prouver son insuffisance. »

La dureté d'un tel jugement diminue Descartes plus qu'elle n'abaisse Roberval ; celui-ci n'eût-il à son actif que le *Traité de Méchanique* — et il peut se réclamer d'autres titres — que son nom mériterait de vivre, car il y a démontré, et par deux voies différentes, la règle de composition des forces concourantes dont personne, avant lui, pas même Simon Stevin, n'avait publié de preuve convaincante, et dont tant de mécaniciens, après lui, ont fait un si fréquent usage.

Les dédains de Descartes à l'égard de Roberval étaient donc souverainement injustes ; Roberval, il est vrai, pouvait s'en consoler en lisant les compliments excessifs que lui adressait Mersenne ; car celui-ci déclarait (1) que son ami « le cédait à peine à Archimède ».

(1) F. Marini Mersenni, Minimi, *Tractatus mechanicus theoricus et practicus.* Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, viâ Jacobeâ, sub signo Fortunæ, MDCXLIV, p. 47.

CHAPITRE XIV

LA STATIQUE FRANÇAISE *(Suite)*
RENÉ DESCARTES
(1596-1650)

Le 8 septembre 1637, devant Breda, Constantin Huygens, père du grand géomètre Christian Huygens, écrivait (1) à Descartes :

« Peut-estre ne vous lairray point en repos, *donec paria mecum feceris*, et m'aurez favorisé d'un traicté de trois feuillets sur le subject des fondemens de la méchanique, et les 4 ou 5 engins qu'on y démonstre, *libra*, *vectis*, *trochleon*, etc. J'ai veu autrefois ce que Guido Ubaldo en a escrit, et, depuis, Galilæo, traduit par le P. Mersenne, mais l'un et l'autre à peu de satisfaction, m'imaginant que ces gens là ne font qu'envelopper de superfluités obscures une chose que je m'asseure que vous comprendrez en deux ou trois positions, n'y ayant rien, à mon sens, qui se tienne d'une si claire et nécessaire façon. »

A cette pressante demande de Constantin Huygens, Descartes répondait (2), le 5 octobre 1637 : « Pour ce que vous désirez des Méchaniques, il est vray que je ne fus jamais moins en humeur d'escrire que maintenant. » Toutefois, il joignait à sa lettre un petit traité intitulé : *Explication des engins par l'ayde desquels on peut, avec une petite force, lever un fardeau fort pesant*. En ce traité, la théorie de la poulie, du plan incliné, du coin, de la roue ou tour, de la vis, du levier est tirée tout entière d'un principe unique. Ce principe est le suivant : Le *travail* (Descartes dit la *force*) nécessaire pour élever des poids différents à des hauteurs différentes garde même

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et P. Tannery, Paris, 1897 ; *Correspondance*, t. I (avril 1622 à février 1638), p. 393.
(2) Id., *ibid.*, p. 435.

valeur lorsque le produit du poids par son ascension ne change pas.

Voici, du reste, en quels termes Descartes le formule :

« L'invention de tous ces engins n'est fondée que sur un seul principe qui est que la même force qui peut lever un poids, par exemple, de cent livres, à la hauteur de deux pieds, en peut aussy lever un de 200 livres à la hauteur d'un pied, ou un de 400 livres à la hauteur d'un demi-pied, et ainsy des autres, si tant est qu'elle luy soit appliquée.

» Et ce principe ne peut manquer d'estre receu, si on considère que l'effect doit estre tousjours proportionné à l'action qui est nécessaire pour le produire ; de façon que s'il est nécessaire d'employer l'action par laquelle on peut lever un poids de 100 livres à la hauteur de deux pieds, pour en lever un à la hauteur d'un pied seulement, cestuy-cy doit peser 200 livres. Car c'est le mesme de lever 100 livres à la hauteur d'un pied, et derechef encore 100 à la hauteur d'un pied, que d'en lever deux cent *(sic)* à la hauteur d'un pied, et le mesme aussy que d'en lever cent à la hauteur de deux pieds.

» Or les engins qui servent à faire cette application d'une force qui agist par un grand espace à un poids qu'elle fait lever par un moindre, sont la poulie, le plan incliné, le coin, le tour ou la rouë, la vis, le levier et quelques autres. Car si on ne veut pas les rapporter les uns aux autres, on peut en nombrer d'avantage ; et si on les y veut rapporter, on n'a pas besoin d'en mettre tant. »

Constantin Huygens reçut avec les marques de la plus vive admiration le petit traité de Statique que Descartes lui avait envoyé. « Je prie Dieu, disait-il (1), de vous inspirer à faire continuellement part au monde de vos escrits, puisqu'à vue d'œil ils sont destinés à le nettoyer

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. I (avril 1622 à février 1638), p. 461.

d'un déluge universel d'erreur et d'ignorance. Au reste, Monsieur, je prévoy qu'en ne pouvant me taire de ce que je possède de si précieux de vostre main, on m'en fera chaudement l'amour de tous costés. »

Une occasion se présentait, qui allait amener Descartes à donner une sorte de seconde édition au traité dont Constantin Huygens avait eu la primeur. Un livre de Jean de Beaugrand, dont nous aurons à traiter au Chapitre XVI, avait vivement attiré l'attention des géomètres sur ce problème : Le poids d'un corps varie-t-il avec sa distance à la terre ?

Le 13 juillet 1638, Descartes écrit à Mersenne (1) pour examiner « la question sçavoir si un corps pèse plus ou moins, estant proche du centre de la Terre qu'estant éloigné. » Dans cette lettre, il reprend sur nouveaux frais l'exposé du principe dont il a entretenu Huygens : « Et la preuve de cecy ne dépend que d'un seul principe qui est le fondement de toute la Statique, à sçavoir *qu'il ne faut ny plus ny moins de force, pour lever un cors pesant à une certaine hauteur, que pour en lever un autre moins pesant à une hauteur d'autant plus grande qu'il est moins pesant, ou pour en lever un plus pesant à une hauteur d'autant moindre*. Comme, par exemple, que la force qui peut lever un poids de 100 livres à la hauteur de deux pieds, en peut aussy lever un de 200 livres à la hauteur d'un pied, ou un de 50 à la hauteur de 4 pieds, et ainsy des autres, si tant est qu'elle leur soit appliquée.

» Ce qu'on m'accordera facilement, si on considère *que l'effect doit tousjours estre proportionné à l'action qui est nécessaire pour le produire, et ainsy que, s'il est nécessaire d'employer la force pour laquelle on peut lever un poids de 100 livres à la hauteur de deux pieds, pour en lever un à la hauteur d'un pied seulement, cela tesmoigne*

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 222

que cestuy-cy pèse 200 livres. Car c'est le mesme de lever 100 livres à la hauteur d'un pied, et derechef encore 100 livres à la hauteur d'un pied, que d'en lever 200 à la hauteur d'un pied, et le mesme aussy que d'en lever 100 à la hauteur de deux pieds. »

Ce principe rend immédiatement compte du rapport qui existe entre le poids apparent d'un grave glissant sur un plan incliné et son poids réel ; la méditation des raisonnements que Galilée, dans ses *Méchaniques*, a développés touchant le plan incliné ont, sans doute, inspiré à Des-

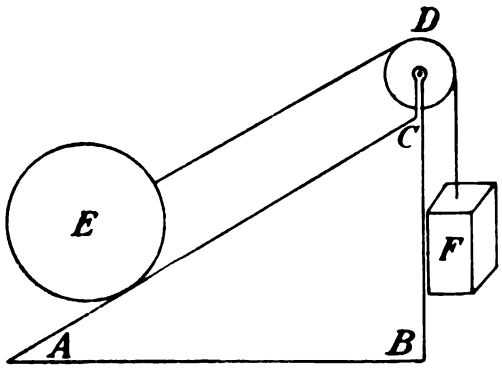

fig. 88.

cartes son principe général ; du moins, est-il permis de le supposer lorsque l'on rapproche les deux passages suivants :

Le premier, que nous avons déjà cité, se trouve dans le Traité *Della Scienza Meccanica*. Reproduisons-le ici d'après la traduction du P. Mersenne (1), alors toute récente, et dont l'auteur avait sûrement fait tenir un exemplaire à Descartes :

« F (fig. 88) ne fera pas moins de chemin en descen-

(1) *Les Méchaniques* de Galilée mathématicien et ingénieur du Duc de Florence, avec plusieurs additions.... Traduites de l'Italien par L. P. M. M. A Paris, chez Henry Guenon, MDCXXXIV, p. 57.

dant perpendiculairement que le poids E en montant obliquement, c'est pourquoy il est nécessaire que F descende plus bas qu'il ne fait monter le poids E, dont l'exaucement *(sic)* se mesure par la ligne perpendiculaire BC; de manière que la ligne de la descente de F sera égalée à CA, quand il aura fait monter le poids de B à C. Car le poids ne résiste pas au mouvement parallèle à l'orizon, parceque ce mouvement ne l'éloigne point du centre de la terre. C'est pourquoy il importe grandement de considérer les lignes dans lesquelles se font les mouvements, et particulièrement lorsqu'ils se font par des forces inanimées, dont les momens et les résistances sont en leur souverain degré dans la ligne perpendiculaire à l'orizon ; mais elles se diminuent à proportion que la ligne se panche sur le plan horizontal. »

Le second passage se trouve dans la lettre que Descartes écrivait à Mersenne le 13 juillet 1638 ; il fait suite à celui que nous rapportions il y a un instant :

« Et il suit évidemment de ceci que la pesanteur relative de chaque cors, ou ce qui est le mesme, la force qu'il faut employer pour le soutenir et empescher qu'il ne descende, lorsqu'il est en certaine position, se doit mesurer par le commencement du mouvement que devrait faire la puissance qui le soutient tant pour le hausser que pour le suivre s'il s'abaissait. En sorte que la proportion qui est entre la ligne droite que descriroit ce mouvement et celle qui marqueroit de combien ce cors s'approcheroit cependant du centre de la terre est la mesme qui est entre la pesanteur absolue et la relative. »

Entre ces deux passages, on n'aperçoit guère qu'une seule différence ; Galilée, qui a obtenu par d'autres considérations la théorie du plan incliné, fait de l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant l'objet d'une sorte de corollaire ; Descartes y voit la cause même de l'équilibre entre un poids qui glisse sur un plan incliné et un poids qui pend verticalement. Lorsque, le 15 novembre

1638, Descartes écrit à Mersenne (1) : « Pour ce qu'a écrit Galilée touchant la balance et le levier, il explique fort bien *quod ita fit*, mais non pas *cur ita fit*, comme je fais par mon Principe », il établit sans doute en son esprit la comparaison même que nous venons de faire. Visiblement, c'est en ce point que la pensée de Descartes se soude à celle de Galilée.

La soudure est assez apparente, l'influence de Galilée assez visible pour que l'on ne puisse sans stupeur lire ces lignes, que Descartes écrivait (2) à Mersenne le 11 octobre 1638 :

« Et premièrement, touchant Galilée, je vous diray que je ne l'ay jamais vu, ny n'ay eu aucune communication avec luy, et que, par conséquent, je ne sçaurais en avoir emprunté aucune chose. Aussy ne vois-je rien en ses livres qui me fasse envie, ny presque que je voulusse avouer pour mien. »

L'orgueil sans mesure qui aveuglait Descartes ne lui laissait reconnaître les titres d'aucun de ses prédécesseurs.

Nous verrons avec quelle insolence hautaine il avait repoussé une réclamation de priorité en faveur de Roberval.

Stevin a conclu la théorie des moufles en formulant cet adage : La puissance est à la résistance comme le chemin décrit par la résistance est au chemin décrit par la puissance. C'est aux moufles que Descartes fait la première application de son principe, aussi bien dans l'*Explication des engins*, adressée à Huygens, que dans la copie envoyée à Mersenne. Cependant, Descartes ne cite pas Stevin. Et ce n'est point qu'il ignore l'œuvre du grand géomètre de Bruges ; le 13 juillet 1638, le jour même où il a envoyé sa Statique à Mersenne, Descartes lui écrit (3) : « Et je

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 433.
(2) Id., *ibid.*, p. 388.
(3) Id., *ibid.*, p. 247.

vous diray que, regardant par hazard ces jours passés en la Statique de Stevin, j'y ai trouvé le centre de gravité du conoïde parabolique. »

Ce corollaire, énoncé une seule fois par Stevin, Guido Ubaldo le répète à satiété, à propos de chaque sorte de moufle. Descartes ne cite pas Guido Ubaldo. Il connaît, cependant, ce que ce géomètre a dit des assemblages de poulies, car il écrit (1) à un mathématicien, qui est peut-être Boswell : « Dans la vis, il me paraît inepte de chercher à voir un levier ; si j'ai bonne mémoire, c'est la fiction dont use Guido Ubaldo. »

Mais s'il est un géomètre qui ait, longtemps avant Descartes, traité le problème du plan incliné exactement par la méthode que devait employer le grand philosophe français, c'est assurément ce mécanicien inconnu du XIIIe siècle que nous nommons le Précurseur de Léonard de Vinci. Au moment où Descartes compose sa Mécanique, la solution proposée par ce géomètre a été sept fois imprimée ; elle se trouve dans les cinq éditions successives des *Quesiti et inventioni diverse* de Nicolas Tartaglia, dans le recueil des *Opere* du même auteur, dans le *Jordani opusculum de ponderositate*, édité par Curtius Trojanus. Comment admettre que le philosophe n'ait feuilleté aucun de ces ouvrages ? Que le grand algébriste n'ait point jeté les yeux sur l'écrit où se trouvait la première résolution des équations du troisième degré ? Que le raisonnement, si clair et si profond, du mécanicien du moyen âge n'ait pas attiré son attention et n'ait pas exercé sur sa manière de traiter la Statique une profonde influence ? Cependant ni le nom de Jordanus, ni le nom de Tartaglia ne se rencontrent en ses traités de Mécanique. Stevin et Galilée, il est vrai, ne furent pas plus justes.

A supposer que Descartes ait ignoré tous les écrits où

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery; *Correspondance*, t. IV, Additions, p. 696.

Tartaglia avait publié la doctrine de l'École de Jordanus, est-il possible d'admettre qu'il n'ait point connu le *Cours mathématique* d'Herigone ? En 1634, la commission chargée d'examiner les méthodes astronomiques de Morin met Herigone en rapport avec Étienne Pascal, Mydorge, de Beaugrand, trois géomètres qui ont avec Mersenne un continuel commerce ; c'est Clerselier qui, le 29 décembre 1633, a, au nom du Roi, accordé privilège au *Cours mathématique*. Peut-on croire que ni Mersenne, ni Clerselier n'aient songé à faire tenir à Descartes un exemplaire de cet ouvrage ? Descartes a donc dû en avoir communication ; il a dû y trouver, formellement énoncé, appliqué au levier et au plan incliné, le principe qu'il allait prendre pour fondement de sa Statique ; et ce principe, Herigone lui-même le tenait de l'École de Jordanus.

L'influence de Galilée se laisse reconnaître dans la solution que Descartes a donnée du problème du plan incliné ; elle se marque mieux encore en ce qu'il dit du levier ; en ce cas, comme dans le cas du plan incliné, son exposé est, en quelque sorte, l'exposé de Galilée pris en ordre inverse.

Si Descartes avait traité la puissance et la résistance qui se tiennent en équilibre par l'intermédiaire d'un levier comme deux poids pendus à ce levier, la démonstration de la condition d'équilibre bien connue ne lui eût causé aucune peine ; dès longtemps, Jordanus de Nemore avait tiré cette démonstration du principe même auquel Descartes rattache toute sa Statique. Cette démonstration de Jordanus d'ailleurs, Descartes en a donné une sorte d'aperçu, dans une lettre adressée sans doute à Boswell (1). Mais ce n'est point ainsi que Descartes considère l'équilibre du levier, ni dans l'*Explication des engins* qu'il envoie à Constantin Huygens, ni dans la Statique qu'il adresse à

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. IV, Additions, p. 694.

Mersenne. La résistance est toujours un poids pendu au levier, mais la puissance est sans cesse perpendiculaire au bras du levier; ainsi en est-il lorsque l'effort du bras soulève un faix au moyen du levier; c'est sous cette forme que Guido Ubaldo a traité du levier. Le problème alors se complique, et c'est pourquoi, dans l'*Explication des engins* adressée à Huygens, Descartes déclare (1) ceci :

« J'ay différé à parler du levier jusques à la fin, à cause

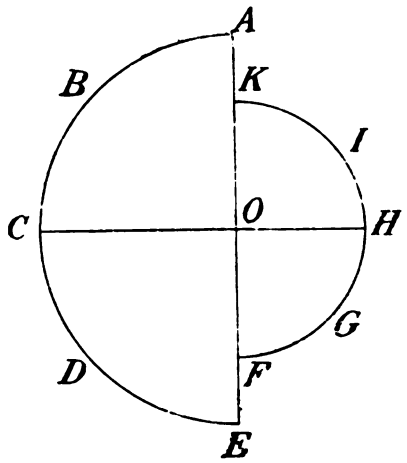

fig. 89.

que c'est l'engin pour lever les fardeaux le plus difficile de tous à expliquer.

» Considérons que, pendant que la force qui meut ce levier descrit tout le demi-cercle ABCDE (fig. 89) et agist suivant cette ligne ABCDE, bien que le poids descrive aussi le demi-cercle FGHIK, il ne se hausse pas toutefois de la longueur de cette ligne courbe FGHIK, mais seulement de la longueur de la ligne droite FOK. De façon que la proportion que doit avoir la force qui

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery; *Correspondance*, t. I, p. 443.

meut ce poids à sa pesanteur, ne doit pas estre mesurée par celle qui est entre les deux diamètres de ces cercles, ou entre leurs deux circonférences, mais plus tost par celle qui est entre la circonférence du plus grand et le diamètre du plus petit. »

Ce passage, où se marquent des vues si profondes sur le travail d'une force de direction variable, ne fait connaître qu'une sorte de rapport moyen entre la puissance et le poids à soulever. La puissance, en effet, qui maintient un poids donné en équilibre varie avec l'inclinaison du levier : « Considérons outre cela qu'il s'en faut beaucoup que cette force n'ait besoin d'estre si grande pour tourner ce levier lorsqu'il est vers A ou vers E que lorsqu'il est vers B ou vers D... ; dont la raison que le poids y monte moins, ainsi qu'il est aysé à voir... »

» Et pour mesurer exactement qu'elle doit estre cete force en chasque point de la ligne courbe ABCDE, il faut sçavoir qu'elle y agist tout de mesme que si elle trainoit de poids sur un plan circulairement incliné, et que l'inclination de chacun des points de ce plan circulaire se doit mesurer par celle de la ligne droite qui touche le cercle en ce point. »

Dans tous ses écrits, Galilée avait admis comme évident qu'il revient au même, pour un poids, d'être astreint à se mouvoir sur une ligne inclinée ou sur un cercle tangent à cette ligne ; ce postulat lui avait permis de tirer la théorie du plan incliné de la notion de *moment* d'un poids. L'analyse qui avait conduit Roberval à justifier la loi du parallélogramme des forces reposait également sur ce postulat implicitement admis. Renversant la marche suivie par Galilée, Descartes tire la théorie de l'équilibre du levier de la loi du plan incliné, et il l'en tire en invoquant encore ce même postulat; mais bien loin de le cacher, comme Roberval, sous le fatras compliqué d'une fausse rigueur, il s'efforce de le mettre en pleine lumière.

Lorsqu'on impose un déplacement à une machine par l'intermédiaire de laquelle deux poids se tiennent en équilibre, l'un d'eux monte et l'autre descend ; le travail effectué par le poids moteur est égal au travail subi par le poids résistant ; mais cette égalité n'a pas lieu quel que soit le déplacement, grand ou petit, que l'on impose au mécanisme ; elle n'est vraie, d'une manière générale, que pour un déplacement infiniment petit à partir de la position d'équilibre. Cette restriction essentielle, aucun des prédécesseurs de Descartes ne l'a nettement aperçue ; aucun, en tous cas, ne l'a explicitement énoncée.

Descartes la marque clairement. « La pesanteur relative de chaque cors, écrit-il à Mersenne, se doit mesurer par le commencement du mouvement que devrait faire la puissance qui le soutient, tant pour le hausser que pour le suivre s'il s'abaissait » ; et il ajoute (1) : « Notez que je dis *commencer à descendre*, non pas simplement *descendre*, à cause que ce n'est qu'au commencement de la descente à laquelle il faut prendre garde. » Un grave assujetti à se mouvoir sur une surface courbe qu'il touche en un point pourra donc être traité comme s'il glissait sur le plan tangent à cette surface en ce point : « En sorte que si, par exemple, ce poids F (fig. 90) n'estoit pas appuié au point D sur une superficie plate, comme est supposée ADC, mais sur une sphérique ou courbée en quelque autre façon, comme EDG, pourvu que la superficie plate qu'on imaginerait la toucher au point D fust la mesme que ADC ; il ne peserait ny plus ny moins, au regard de la puissance H, qu'il fait estant appuié sur le plan AC. Car, bien que le mouvement que feroit ce poids, en montant ou descendant du point D vers E ou vers G sur la superficie courbe EDG fust tout autre que celui qu'il feroit sur la superficie plate ADC, toutefois, étant

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 233.

au point D sur EDG, il seroit déterminé à se mouvoir vers le mesme costé que s'il étoit sur ADG, à sçavoir vers A ou vers C. Et il est évident que le changement qui arrive à ce mouvement, sitost qu'il a cessé de toucher le point D, ne peut rien changer en la pesanteur qu'il a, lorsqu'il le touche. »

Ce principe, les prédécesseurs de Descartes en ont fait usage ; Léonard de Vinci en a tiré la loi de la composition des forces ; grâce à lui, Galilée a pu ramener la théorie du plan incliné à la théorie du levier ; à l'aide du même artifice, Roberval a pu justifier les propositions

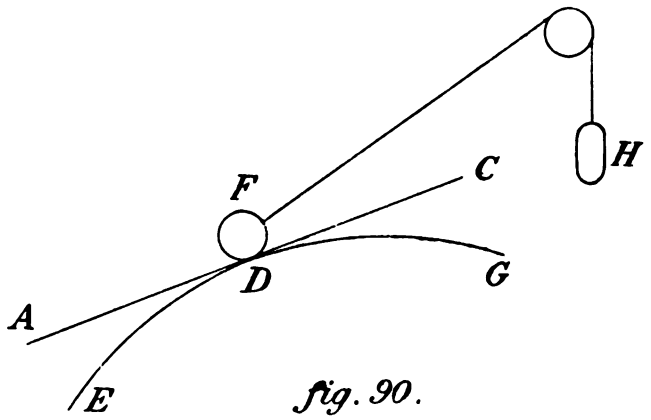

fig. 90.

que Stevin n'avait point suffisamment démontrées ; mais aucun de ces auteurs n'avait formulé d'une manière explicite et générale le postulat qui supportait leurs démonstrations.

Descartes est donc le premier qui ait nettement affirmé le caractère infinitésimal du principe des déplacements virtuels.

Au moment même où il adressait à Huygens l'*Explication des engins par l'ayde desquels on peut avec une petite force lever un fardeau fort pesant*, Descartes publiait le *Discours de la Méthode ;* assurément, en composant sa Mécanique, il avait fort présentes à l'esprit les

règles qu'il posait en ce Discours ; en formulant le principe d'où il tirait toute la Statique, il entendait bien se conformer au premier des préceptes qu'il avait posés ; ce précepte lui enjoignait « de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie qu'il ne la connût évidemment être telle ; c'est-à-dire.... de ne comprendre rien de plus en ses jugements que ce qui se présenterait si clairement à son esprit qu'il n'eût aucune occasion de le mettre en doute ».

Cette clarté parfaite, cette évidence absolue, il les reconnaissait en son principe de Statique qui ne lui paraissait pas le céder en certitude aux vérités de l'Arithmétique : « La mesme quantité de force (1) qui sert à lever ce poids à la hauteur d'un pied ne suffit pas *eadem numero* pour le lever à la hauteur de deux pieds, et il n'est pas plus clair que deux et deux font quatre, qu'il est clair qu'il y en faut employer le double. »

Ce principe, cependant, ne fut pas admis d'emblée par tous ceux qui en eurent connaissance ; quelques-uns, et non des moindres, tels que Mersenne ou Des Argues, y trouvèrent des obscurités.

Ces obscurités provenaient surtout d'un malentendu. Descartes parlait de la force nécessaire pour soulever un poids à une certaine hauteur ; plusieurs de ses lecteurs entendaient ce mot *force* dans le sens où nous le prenons aujourd'hui ; Descartes, au contraire, désignait par ce mot une grandeur que mesure le produit du poids par la longueur dont il s'élève ou s'abaisse ; en d'autres termes, il lui donnait la signification que nous attribuons aujourd'hui au mot *travail ;* il s'étonnait et, parfois, s'irritait que cette confusion pût arrêter les géomètres et entraver leur adhésion à son principe.

Le 15 novembre 1638, il écrit à Mersenne (2) : « Vous

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639) : *Lettre à Mersenne* du 12 septembre 1638, p. 352.

(2) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 432.

avez enfin entendu le mot force au sens que je le prens, quand je dis qu'il faut autant de force, pour lever un poids de cent livres à la hauteur d'un pied qu'un de cinquante à la hauteur de deux pieds, c'est-à-dire qu'il y faut autant d'action ou autant d'effort. Je veux croire que je ne m'estois pas cy-devant assez expliqué, puisque vous ne m'aviez pas entendu, mais j'estois si éloigné de penser à la puissance qu'on nomme la force d'un homme, lorsqu'on dit un tel a plus de force que tel, etc., que je ne pouvois aucunement me douter qu'on dûst prendre le mot de force en ce sens là. Et lorsqu'on dit qu'il faut employer moins de force à un effet qu'à un autre, ce n'est pas dire qu'il faille avoir moins de puissance, car encore qu'on en aurait d'avantage, elle ne nuit point ; mais seulement qu'il y faut moins d'action. Et je ne considérais pas en cet écrit la puissance qu'on nomme la force d'un homme, mais seulement l'action qu'on nomme la force par laquelle un poids peut estre levé, soit que cette action vienne d'un homme, ou d'un ressort, ou d'un autre poids, etc. Or il n'y a point, ce me semble, d'autre moyen de connoistre *à priori* la quantité de cet effet, c'est à dire combien et quel poids peut estre levé avec telle ou telle machine, que de mesurer la quantité de l'action qui cause cet effet, c'est à dire de la force qui doit y estre employée ; et je ne doute point que M. Des Argues ne l'accorde, s'il prend la peine de relire le peu que j'ay écrit sur ce sujet ; car comme je suis très assuré de la bonté de son esprit, je croy aussi ne devoir pas douter en cela de ma raison. »

L'impatience de n'être pas compris s'explique et s'excuse d'autant mieux chez Descartes que, dès le 12 septembre 1638, il avait, dans une lettre à Mersenne (1), défini avec une entière précision le sens qu'il attribuait au mot *force* et nettement séparé ce sens des autres significations que l'on peut attribuer au même mot.

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), p. 352.

« Il faut sur tout considérer, disait-il, que j'ay parlé de la force qui sert pour lever un poids à quelque hauteur, *laquelle force a tousjours deux dimensions*, et non de celle qui sert en chaque point pour le soutenir, laquelle n'a jamais qu'une dimension, en sorte que ces deux forces diffèrent autant l'une de l'autre qu'*une superficie diffère d'une ligne.* »

Le travail, que Descartes nomme *force*, dépend de deux variables ou, comme dit Descartes, a deux dimensions : la grandeur que nous nommons aujourd'hui *force*, qui est de même espèce que le poids, et une longueur, projection sur la force du chemin parcouru par le mobile ; ces deux variables peuvent être prises comme coordonnées rectangulaires d'un point figuratif ; le travail accompli par une force constante sera représenté par le rectangle de ces deux coordonnées. Cette représentation graphique du travail, si communément employée aujourd'hui, ne demeure pas inaperçue de Descartes : « Je ne dis pas simplement *que la force qui peut lever un poids de 50 livres à la hauteur de 4 pieds, en peut lever un de 200 livres à la hauteur d'un pied*, mais je dis *qu'elle le peut si tant est qu'elle luy soit appliquée.* Or est il qu'il est impossible de l'y appliquer que par le moyen de quelque machine ou autre invention qui face que ce poids ne se hausse que d'un pied, pendant que cete force agira en toute la longueur de quatre pieds, et ainsy qui transforme le rectangle par lequel est représentée la force qu'il faut pour lever ce poids de 200 livres à la hauteur d'un pied, en un autre qui soit égal et semblable à celuy qui représente la force qu'il faut pour lever un poids de 50 livres à la hauteur de 4 pieds. » Et, au cours de cette lettre à Mersenne, Descartes fait constamment usage de cette représentation géométrique du travail.

Ce que Descartes nomme la *force*, ce que nous nommons aujourd'hui le *travail*, est donc essentiellement distinct du *momento* considéré par Galilée ; cette dernière grandeur, produit d'un poids par une vitesse, dépend de trois sortes

de grandeurs variables, le poids, l'espace parcouru par le mobile, le temps employé à le parcourir. « Que si j'avais voulu joindre la considération de la vitesse avec celle de l'espace (1), il m'eust été nécessaire d'attribuer trois dimensions à la force, au lieu que je lui en ay attribué seulement deux, affin de l'exclure. »

Cette exclusion de la vitesse dans la formation de la grandeur dont dépend toute la Statique, d'aucuns la reprochaient à Descartes, invoquant l'autorité de Galilée ; mais Descartes repoussait dédaigneusement ces critiques mal fondées ; car, à l'imitation de Stevin, et peut-être sous son inspiration, il avait acquis l'assurance que la vitesse d'un

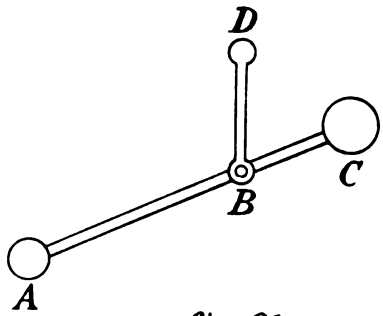

fig. 91.

mouvement n'est point proportionnelle à l'action motrice, et la conviction que cette antique loi péripatéticienne ne devait plus être prise pour fondement de la Statique. « Pour ceux qui disent (2) que je devais considérer la vitesse, comme Galilée, plustost que l'espace, pour rendre raison des machines, je croy, entre nous, que ce sont des gens qui n'en parlent que par fantaisie, sans entendre rien en cette matière. Et bien qu'il soit évident qu'il faut plus de force pour lever un cors fort viste, que pour le lever

(1) *Lettre de Descartes à Mersenne*, du 12 septembre 1638 (*Œuvres de* Descartes, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery, t. II, p. 382).
(2) *Ibid.*, p. 433.

fort lentement, c'est toutesfois une pure imagination de dire que la force doit être justement double pour doubler la vitesse, et il est fort aisé de prouver le contraire. »

Cette attaque de Descartes au principe de la Dynamique péripatéticienne n'était pas, d'ailleurs, la première qu'il dirigeât à l'encontre de cet axiome ; peu de temps auparavant, il écrivait ces lignes (1) :

« La première chose dont on peut en cecy estre préoccupé, est que plusieurs ont coustume de confondre la considération de l'espace avec celle du tems ou de la vitesse, en sorte que, par exemple, au levier, ou ce qui est le mesme, en la balance ABCD (fig. 91), ayant supposé que le bras AB est double de BC, et que le poids en C est double du poids en A, et ainsy qu'ils sont en équilibre, *au lieu de dire que ce qui est cause de cet équilibre est que, si le poids* C *soulevait ou bien estoit soulevé par le poids* A, *il ne passeroit que par la moitié d'autant d'espace que luy*, ils disent qu'il iroit de moitié plus lentement, ce qui est une faute, d'autant plus nuisible qu'elle est plus mal aysée à reconnoistre ; car ce n'est point la différence de la vitesse qui fait que ces poids doivent estre l'un double de l'autre, *mais la différence de l'espace*, comme il paroist de ce que pour lever, par exemple, le poids F avec la main jusques en G, il n'y faut point employer une force qui soit justement double de celle qu'on y aura employée le premier coup, si on le veut lever deux fois plus viste, mais il y en faut employer une qui soit plus ou moins grande que le double, selon la diverse proportion que peut avoir ceste vitesse avec les causes qui lui résistent. »

Ces deux lettres n'ont assurément point suffi à convaincre ceux qui, dans l'entourage de Mersenne, tenaient pour la manière de voir de Galilée, c'est-à-dire, en der-

(1) *Lettre de Descartes à Mersenne*, du 12 septembre 1638 (*Œuvres de* Descartes, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery, t. II, p. 352).

nière analyse, pour l'antique fondement des Μηχανικὰ προβλήματα. Le 2 février 1643, dans une lettre (1) adressée au savant religieux, Descartes est obligé de revenir à la charge :

« Je viens à vostre seconde lettre que j'ay receue quasi aussy tost que l'autre ; et premièrement, pour ce qu'il vous plaist d'employer en vos escrits quelque chose de ce que j'ay escrit des Méchaniques, je m'en remets entière-

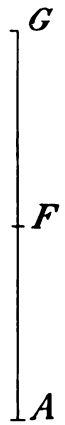

fig. 92.

ment à votre discrétion, et vous avez pouvoir d'en faire tout ainsy qu'il vous plairra ; plusieurs l'ont desja veu en ce païs, et mesme en ont eu copie.

» Or la raison qui fait que je reprens ceux qui se servent de la vitesse pour expliquer la force du levier, et autres semblables, n'est pas que je nie que la mesme proportion de vitesse ne s'y rencontre tousjours ; mais pourceque cette vitesse ne comprend pas la raison pour laquelle la force augmente ou diminuë, comme fait la quantité de l'espace, et qu'il y a plusieurs choses à consi-

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. III (janvier 1648 à juin 1643), p. 613.

dérer touchant la vitesse qui ne sont pas aysées à expliquer. Comme, pour ce que vous dites qu'une force qui pourra eslever un pois de A en F (fig. 92), en un moment, le pourra aussy eslever en un moment de A en G, si elle est doublée, je n'en voy nullement la raison. Et je croy que vous pourrez aysément expérimenter le contraire, si, ayant une balance en équilibre, vous mettez dedans le moindre poids qui la puisse faire trébuscher ; car alors elle trébuschera fort lentement ; au lieu que si vous y mettez le double de ce mesme poids, elle trébuschera bien plus de deux fois aussy viste. »

La force des adversaires de Descartes était évidemment tirée de cet argument :

Selon le grand philosophe, la puissance et la résistance, en une machine quelconque, sont entre elles comme les projections sur la verticale des deux chemins que l'agencement mécanique lie indissolublement l'un à l'autre ; mais ces deux chemins sont nécessairement décrits en même temps, en sorte que le rapport des composantes verticales de ces deux chemins est exactement le même que le rapport des composantes verticales des vitesses ; le rapport des deux poids qui se tiennent en équilibre peut indifféremment être égalé à l'inverse du premier rapport ou à l'inverse du second, comme Guido Ubaldo avait pris soin de le marquer en toutes circonstances. Dès lors, puisque la règle proposée par Descartes conduit certainement, dans tous les cas possibles, au même résultat que la règle formulée par Galilée, pourquoi abandonner la plus ancienne et la plus autorisée de ces règles ?

Descartes luttait avec persévérance contre cette opinion qui donnait, il est vrai, des propositions exactes de Statique, mais prétendait en rendre raison par de faux principes de Dynamique. En 1646 (?), nous le voyons encore écrire (1) à Boswell (?) : « Je ne nie pas la vérité

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. IV, Additions, p. 685.

matérielle de ce que les mécaniciens ont coutume de dire, à savoir que plus la vitesse de l'extrémité du long bras du levier est grande par rapport à la vitesse de l'autre extrémité, moins elle a besoin de force pour se mouvoir ; mais je nie que la vitesse ou la lenteur soit la cause de cet effet. »

Que l'on n'estime pas légère et de peu d'importance la modification apportée par Descartes à l'énoncé de Galilée ; grâce à cette modification, les lois de l'équilibre ne se tirent plus d'un postulat inexact ; elles ne reposent plus ni sur la Dynamique d'Aristote, qui est déjà condamnée, ni sur la Dynamique nouvelle, qui n'est point encore constituée ; la Statique devient une science autonome, qui découle tout entière d'un principe de certitude absolue et d'évidence immédiate. « Et si j'ai tesmoigné (1) tant soit peu d'adresse en quelque partie de ce petit escrit de Statique, je veux bien qu'on sache que c'est plus en cela seul qu'en tout le reste. Car il est impossible de rien dire de bon touchant la vitesse, sans avoir expliqué au vray ce que c'est que la pesanteur, et ensemble tout le système du monde. Or, à cause que je ne le voulais pas entreprendre, j'ai trouvé moyen d'omettre cette considération, et d'en séparer tellement les autres que je les peusse expliquer sans elle. »

Descartes avait lu la Statique de Stevin ; il ne pouvait ignorer l'importance de la règle selon laquelle se composent deux forces concourantes ; on est surpris qu'il n'ait point songé à tirer cette règle du principe sur lequel il a fondé sa Statique. On pourrait croire que, s'il ne l'a pas fait, c'est qu'il regardait le problème comme résolu. Nous avons vu, en effet, que Roberval avait su démontrer, de la manière la plus heureuse, la loi de composition des forces concourantes, en invoquant précisément l'axiome

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II, p. 352 : *Lettre de Descartes à Mersenne* du 12 septembre 1638.

que Descartes allait formuler avec une entière généralité. Attribuer le silence de Descartes touchant la loi du parallélogramme des forces à la crainte de s'approprier une solution déjà obtenue par un autre géomètre, ce serait lui prêter des sentiments de justice qu'il ressentait rarement à l'égard de ses émules, qu'il n'éprouvait jamais envers Roberval.

Roberval avait élevé une réclamation de priorité au sujet du postulat qui portait toute la Statique de Descartes ; cette réclamation avait été, sans doute, formulée auprès de Mersenne qui l'avait fait connaître au philosophe ; celui-ci répondit (1) par une lettre dont il serait difficile de surpasser le ton de mépris et d'insolence : « Je viens de lire le Traitté de Mécanique du Sieur Roberval, où j'apprens qu'il est Professeur, ce que j'avois ignoré, et je pensois que vous m'aviez autrefois mandé qu'il estoit Président en quelque Province, et je ne m'estonne plus tant de son stile. Pour son Traitté, j'y pourrois trouver quantité de fautes, si je le voulois examiner à la rigueur. Mais je vous diray en gros qu'il a pris beaucoup de peine à expliquer une chose qui est bien aisée, et qu'il l'a rendue plus difficile par son explication, qu'elle n'est de sa nature ; outre que Stevin a demonstré avant luy les mesmes choses, d'une façon beaucoup plus facile et plus générale. Il est vray que je ne scay pas, ny de l'un ny de l'autre, s'ils ont esté exacts en leurs démonstrations, car je ne sçaurois avoir la patience de lire tout du long de tels livres. En ce qu'il dit avoir mis dans un Corollaire le mesme que moy dans mon Escrit de Statique, *aberrat toto Cœlo*, car il fait une conclusion de ce dont je fais un principe, et il parle du temps, de la vitesse au lieu que je parle de l'espace, ce qui est une très grande erreur, ainsy que j'ay expliqué en mes précédentes. »

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery; *Correspondance*, t. II, p. 390 : *Lettre de Descartes à Mersenne* du 11 octobre 1638.

En cette lettre abondent les jugements injustes ; il y paraît que Descartes avait à peine daigné jeter un coup d'œil sur la très belle démonstration de Roberval, car celui-ci a toujours considéré le *chemin* parcouru par les divers poids, et nullement le temps ni la vitesse. Elle nous apporte du moins un renseignement précieux ; Descartes n'avait point eu la patience de lire avec soin les ouvrages de Stevin et de Roberval ; nous ne nous étonnerons donc pas de le trouver fort ignorant au sujet du problème de la composition des forces.

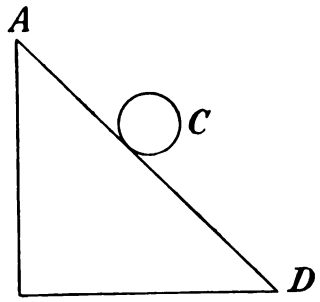

fig. 93.

De cette ignorance, il nous reste une preuve bien manifeste.

Le 18 novembre 1640, Descartes écrit à Mersenne (1) :

« Il est certain que le poids C (fig. 93) ne pèse, sur le plan AD, que la différence qui est entre la force qu'il faut à le soûtenir sur ce plan, et celle qu'il faut pour le soûtenir en l'air. Comme s'il pèse cent livres et qu'il n'en faille que quarante pour le soûtenir sur AD, ce plan AD en porte soixante seulement. »

Ainsi en 1640, Descartes croit encore que les deux composantes d'un poids ont pour somme algébrique ce

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. III (janvier 1640 à juin 1643), p. 243.

poids même ! L'orgueilleux philosophe aurait eu grand profit à lire avec plus de patience la *Statique* de Stevin et le *Traité de Méchanique* de Roberval ou, simplement, le *Cours mathématique* d'Herigone et les écrits de Mersenne.

La Statique de Descartes marque l'extrême aboutissant d'un long développement ; à la construction de cette doctrine ont concouru toutes les idées émises par les prédécesseurs du grand géomètre français ; mais en elle seulement, ces idées ont trouvé leur achèvement ; en elle, leurs désaccords apparents se sont fondus en une harmonieuse synthèse.

Complétant l'œuvre d'Aristote, de Léonard de Vinci et de Cardan, Galilée avait fondé la Statique entière sur un principe unique ; mais à ce principe fondamental, les esprits amis de la rigueur pouvaient, avec Stevin, opposer une grave objection : il n'était qu'un corollaire de la Dynamique péripatéticienne désormais condamnée.

A ces esprits, amis d'une certitude rigide et géométrique, la méthode de Stevin et de Roberval donnait une entière satisfaction, en constituant une Statique autonome, sauve de toute hypothèse empruntée à une Dynamique douteuse. Mais si nul géomètre n'était tenté de rejeter ou de laisser en suspens quelqu'un des postulats invoqués par le mécanicien de Bruges ou par le professeur du Collège de France, plusieurs pouvaient désirer qu'on les déduisît tous d'un axiome unique qui fût leur véritable raison d'être.

A tous ces besoins intellectuels, si divers, l'œuvre de Descartes donne satisfaction ; de la méthode de Galilée, elle garde l'ampleur et l'unité qui condensent toute la Statique en un principe unique ; de la méthode de Stevin, elle garde la rigueur, car son principe, qui semble d'une certitude et d'une évidence immédiates, n'emprunte rien aux doctrines dynamiques surannées.

La grandeur qui, dans la Statique de Descartes, joue

le rôle essentiel, le produit du poids d'un corps par la longueur dont ce corps s'est abaissé, a déjà été rencontrée par Stevin et par Galilée ; mais cette rencontre a été fortuite et passagère ; ni le géomètre belge, ni le géomètre italien n'ont signalé l'importance de cette grandeur ; l'École de Jordanus, Roberval et Herigone ont fait jouer un rôle essentiel, en certaines de leurs démonstrations, au produit du poids par son abaissement vertical, sans proclamer cependant que toute la Statique pouvait être ramenée à la comparaison de semblables produits ; Descartes, le premier, a vu en ce produit le concept fondamental de la Mécanique ; par là il est, sinon le véritable créateur, du moins le plus influent promoteur de la notion de *travail*, autour de laquelle pivote toute notre science actuelle de l'équilibre et du mouvement.

Ses efforts pour préciser cette notion de travail et la distinguer de la notion que Mersenne et Desargues confondaient avec elle ont contribué, pour une large part, à définir exactement la notion de *force*, telle que nous l'entendons aujourd'hui ; car c'est celle-ci qui hantait l'esprit de ses contradicteurs.

Descartes a saisi et marqué nettement le caractère infinitésimal du principe des déplacements virtuels ; il a affirmé, ce que nul n'avait explicitement énoncé avant lui, l'obligation d'appliquer toujours ce principe à un déplacement infiniment petit issu de l'état d'équilibre ; il en a conclu l'équivalence de liaisons qui correspondent à un même chemin virtuel infinitésimal ; par là, il a donné à ce principe sa forme définitive.

On objectera peut-être que la Statique dont il a tracé le plan manque de généralité ; il n'y considère d'autre force que des poids. Ce défaut de généralité n'est qu'apparent ; pour raisonner sur une force quelconque, tous les géomètres du XVIIe siècle, Stevin, Galilée, Roberval, la remplacent par un fil tendu dans la direction où elle doit agir, qui passe sur une poulie et soutient un poids égal à

la force que l'on doit exercer ; par cet artifice, la Statique des poids comprend la Statique tout entière. En fait, au moyen de cet artifice, un géomètre pourra, sans le moindre effort, tirer, du principe énoncé par Descartes, le principe des déplacements virtuels sous la forme même que Jean Bernoulli communiquera en 1717 à Varignon ; il est infiniment probable que ce procédé est celui-là même qui suggérera à Bernoulli sa découverte ; et lorsque Lagrange, dans sa *Mécanique Analytique*, le proposera comme un moyen propre à établir le principe des déplacements virtuels, il ne fera, sans doute, que reprendre la méthode de l'inventeur. En sorte que le principe formulé par Descartes renferme d'une manière implicite, mais toute prochaine, l'axiome duquel nous savons aujourd'hui déduire toutes les lois de la Statique.

La Statique de Descartes est donc le fruit mûr qu'a produit une longue végétation. Pour retrouver la graine d'où cette végétation est issue, il a fallu remonter bien haut le cours des temps ; il nous a fallu recueillir, à l'origine du XIIIe siècle, les enseignements de l'École de Jordanus. A partir de ce germe, engendré par la science occidentale en sa première jeunesse, nous pouvons suivre chacun des accroissements, chacune des transformations, par lesquelles la science de l'équilibre s'est graduellement développée. Et lorsqu'enfin elle parvient, en la Mécanique cartésienne, à donner son fruit mûr, nous pouvons marquer la provenance de chacune des enveloppes, de chacun des tissus qui composent ce fruit.

A la formation de cette Statique cartésienne, quelle a été l'exacte contribution de Descartes ? Il lui a donné, assurément, l'ordre et la clarté qui sont l'essence même de sa méthode, qui caractérisent si parfaitement son génie éminemment français. Mais, non content d'imposer une forme à la science de l'équilibre, le grand philosophe en a-t-il accru la matière ? Y a-t-il ajouté quelque vérité inconnue avant lui ? D'un tel apport, nous chercherions en

vain la trace. En la Statique de Descartes, il n'est aucune vérité que les hommes n'aient connue avant Descartes.

Aveuglé par son prodigieux orgueil, Descartes ne voit qu'erreurs dans les œuvres de ses prédécesseurs et de ses contemporains. Il croit (1) que les difficultés rencontrées par ceux qu'inquiètent les problèmes d'équilibre « ne vienent pour la pluspart que de ce qu'on est desjà trop sçavant aux Méchaniques, c'est à dire, de ce qu'on est trop préoccupé des principes que prennent les autres touchant ces matières, lesquels n'estant pas du tout vrais, trompent d'autant plus qu'ils semblent plus l'estre ». Il laisse complaisamment Constantin Huygens lui affirmer (2) que « ses escrits sont destinés à nettoyer le monde d'un déluge universel d'erreur et d'ignorance ». Il est assurément convaincu qu'il connaît seul les vrais fondements de la Statique et qu'il les a bâtis de toutes pièces, sur un sol déblayé par sa critique de toutes les caduques bicoques que les autres géomètres y avaient élevées. A cette inconscience superbe, on se prend à appliquer cette pensée de Pascal (3) :

« Certains auteurs, parlant de leurs ouvrages, disent : Mon livre, mon commentaire, mon histoire, etc. Ils sentent leurs bourgeois qui ont pignon sur rue, et toujours un « chez moi » à la bouche. Ils feraient mieux de dire : Notre livre, notre commentaire, notre histoire, etc., vu que d'ordinaire il y a plus en cela du bien d'autrui que du leur. »

(1) Descartes. *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; *Correspondance*, t. II, p. 354 : *Lettre à Mersenne* du 12 septembre 1638.

(2) Id., *ibid.*, t. I, p. 461 : *Lettre de Constantin Huygens*, du 23 novembre 1637.

(3) Pascal, *Pensées*, Édition Havet, Art. XXIV, n° 68.

NOTES

A.

Sur l'indendité de Charistion et d'Hériston.

Nous avons émis (Chapitre V, § 2) l'hypothèse que le mécanicien Charistion ne serait pas un personnage différent d'Hériston, fils de Ptolémée, auquel son père a dédié le *Liber diversarum rerum*. L'ouvrage imprimé à Venise en 1508 porte, en effet : *ad Heristonem filium suum*. L'exemplaire manuscrit que possède la Bibliothèque nationale (fonds latin, n° 16208) porte : *ad Aristonem*. Ce nom d'Ariston, attribué au fils de Ptolémée, est une des raisons que l'on peut faire valoir pour soutenir que le *Liber diversarum rerum* est apocryphe.

Ariston, en effet, est le nom du personnage, inconnu par ailleurs, auquel Philon de Byzance a dédié tous ses ouvrages (1), " la dédicace à Ariston, dit M. Carra de Vaux, paraît être une sorte de signature dans les œuvres de Philon. "

L'auteur du *Liber diversarum rerum* aurait emprunté ce nom d'Ariston aux écrits de Philon de Byzance (2) et l'aurait attribué à un fils de Ptolémée, ignorant que Philon vécût près de 250 ans avant Ptolémée.

Le personnage imaginaire auquel est dédié l'apocryphe *Liber diversarum rerum* n'aurait donc rien de commun avec Charistion. Je remercie M. Eneström d'avoir bien voulu attirer mon attention sur ce point.

(1) Valentin Rose, *Anecdota græca et græco-latina*. 2tes Heft, Berlin, 1870; p. 299. — *Le livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques par Philon de Byzance*, édité et traduit en français par le Baron Carra de Vaux, Paris, 1902.

(2) C'est l'hypothèse émise par M. M. Steinschneider (*Mathematische Handschriften der Amplonianischen Sammlung* in Bibliotheca mathematica, 2e Série, t. V, p. 46; 1891).

Mentionnons en terminant que M. M. Steinschneider a émis (1), d'une manière incidente, l'hypothèse que le nom arabe *Karastun* de la balance romaine pouvait venir du grec χαριστίων ; le mot peu usité *Faristun* a, en persan, la même signification.

B.

Jordanus de Nemore et Roger Bacon.

L'*Opus majus* de Roger Bacon (1214-1292 ou 1294) est, on le sait, adressé au pape Clément IV, qui mourut en 1268 ; il n'est donc pas postérieur à cette date. Non seulement cet ouvrage a été par deux fois imprimé, mais certaines parties en ont été distraites et livrées séparément à l'impression ; telle la première subdivision de la 4e partie qui, en 1614, fut publiée sous ce titre : *Specula mathematica* (2).

L'ouvrage est divisé en quatre *distinctiones;* la quatrième *distinctio* comprend quinze chapitres dont le dernier, *De motu libræ*, est consacré à la balance et à ses mouvements.

Bacon se propose d'y montrer combien la Gémétrie est puissante dans l'étude des mouvements ; c'est elle, en effet, " qui permet de comprendre la science *des poids ;* c'est une science fort belle, mais trop difficile pour ceux qui n'ont pas expérimenté les causes des mouvements des corps graves ou légers. „

" Dicit ergo Jordanus, in libro *de ponderibus*,... „ tels sont les termes en lesquels Bacon commence son exposition. Cette exposition est entièrement consacrée à la théorie de la stabilité de la balance et aux raisons qu'en a données Jordanus. Aussitôt que la balance est écartée de la position d'*égalité*, la gravité *secundum situm* du poids qui s'élève devient plus grande que la gravité *secundum situm* du poids qui s'abaisse, en sorte qu'abandonnée à elle-même, la balance revient à la position d'où on l'avait dérangée.

Non seulement Bacon ne fait aucune objection à la théorie

(1) M. Steinschneider, *Die Söhne der Musa ben Schakir* (Bibliotheca mathematica, 2e Série, t. I. p. 71 ; 1887).

(2) Rogerii Bacconis Angli, viri eminentissimi, *Specula mathematica*, in qua de specierum multiplicatione earumque in inferioribus virtute agitur. Liber omnium scientiarum studiosis apprime utilis, editus opera et studio Johannis Combachii, Philosophiæ professoris in Academia Marpurgensi ordinarii. Francofurti, typis Wolffgangi Richteri, sumptibus Antonii Hummii, MDCXIV.

de Jordanus, mais encore il trouve dans cette théorie la solution d'une difficulté.

Un corps qui tombe accélère la vitesse de sa chute ; or la vitesse de chute d'un grave est proportionnelle à son poids ; un corps devient donc d'autant plus pesant qu'il descend d'avantage ; telle est l'opinion d'Aristote ou, du moins, telle est l'interprétation que la plûpart des commentateurs donnent de cette opinion.

Bacon ne doute pas que cette opinion ne soit exacte ; mais il en tire un corollaire embarrassant.

Supposons que l'on détourne quelque peu de la position horizontale le fléau d'une balance ; le poids que l'on a abaissé s'est rapproché du centre de la terre ; il est donc devenu plus pesant ; l'autre poids, au contraire, s'étant élevé, est devenu plus léger ; par conséquent, le fléau va continuer à se mouvoir dans le sens où on l'a incliner et il ne cessera de se mouvoir en ce sens que lorsqu'il sera devenu vertical ; l'équilibre de la balance est essentiellement instable ; “ hoc est contra Jordanum et contra sensum „, dit Bacon.

La doctrine de Jordanus résout cette difficulté ; le poids qui, selon Aristote, deviendrait le plus lourd parce qu'il s'approche du centre du monde est aussi celui qui possède, d'après Jordanus, la plus petite gravité *secundum situm ;* le second effet, plus puissant que le premier, se manifeste seul.

En exposant cette théorie, assez singulière d'ailleurs, Bacon ne cite pas seulement Jordanus ; il cite aussi le “ commentateur „ de ce géomètre.

Or nous avons vu qu'il existait, dès le XIIIe siècle, au moins deux commentaires distincts du traité *De ponderibus* composé par Jordanus ; de ces deux commentaires, quel est celui que Bacon a connu ? La réponse à cette question est malaisée, car Bacon n'emprunte guère à la science *De ponderibus* que des considérations et des énoncés qui sont communs à Jordanus et à ses divers commentateurs. Observons, cependant, que, pour expliquer la diminution de gravité *secundum situm* d'un point qui descend sur un cercle, Bacon invoque, et par deux fois, non seulement l'obliquité, mais encore la courbure de la trajectoire ; cette remarque conduit à penser que le commentaire des *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis* dont Bacon a eu connaissance est celui là même que nous avons décrit au Chapitre VII, § 2, comme l'œuvre d'un commentateur péripatéticien ; c'est d'ailleurs le seul qui donne à ses démonstrations le titre de *comentum*.

C.

Sur les divers axiomes d'ou se peut déduire la théorie du levier.

Nous avons remarqué au Chapitre V, § 1, que le *livre de la balance,* attribué à Euclide et retrouvé par M. Woepcke en un manuscrit arabe, débute par un essai malheureux pour démontrer la proposition suivante :

égaux

Si des poids en nombre quelconque maintiennent un fléau de balance parallèle à l'horizon ; si Z, D *sont deux de ces poids suspendus à un même bras du fléau ; si l'on éloigne le poids* Z *du point de suspension de la balance d'une certaine longueur et si l'on rapproche le poids* D *du point de suspension de la même longueur, le fléau demeure parallèle à l'horizon.*

Si, rejetant la démonstration, on prend cette proposition pour un axiome — afin de mettre de la clarté dans le discours, nous l'appellerons l'Axiome d'Euclide — on en peut déduire, comme l'a fait l'auteur du *livre de la balance,* la théorie du levier.

D'autre part, la démonstration classique d'Archimède, outre les axiomes explicitement énumérés par le grand géomètre, suppose cet axiome implicitement admis (1) :

Si deux poids égaux A, B, *suspendus en deux points distincts* C, D *du même bras d'un fléau, sont équilibrés par un poids* E *suspendu à l'autre bras, le même poids* E *équilibrera un poids égal à* (A + B) *ou* 2A, *suspendu au point* M, *milieu de l'intervalle* CD.

Nous nommerons cet axiome l'Axiome d'Archimède.

Il est clair que l'axiome d'Archimède peut, si l'on veut, être regardé comme un corollaire immédiat de l'axiome d'Euclide et inversement, en sorte que ces deux axiomes sont exactement équivalents.

(1) Voir à ce sujet :

E. Mach, *La Mécanique, exposé historique et critique de son développement,* trad. par E. Bertrand ; Paris, 1904 ; pp. 17 et seqq.

O. Hölder, *Anschauung und Denken in der Geometrie;* Leipzig, 1901, p. 64.

G. Vailati, *La dimostrazione del principio della leva data da Archimede nel libro primo sull'equilibrio delle figure piane* (Atti del Congresso internazionale di Scienze storiche, Roma, 1-9 aprile 1903. Vol. XII, p. 243).

Dans les *Questions Mécaniques*, attribuées au philosophe de Stagire, la loi d'équilibre du levier est tirée d'un troisième axiome, que nous nommerons l'AXIOME D'ARISTOTE ; *Les deux poids qui se font équilibre aux extrémités d'un levier sont inversement proportionnels aux vitesses avec lesquelles se mouvraient ces extrémités dans un déplacement virtuel du levier.*

Cet axiome a été employé non seulement par l'auteur des *Questions Mécaniques*, mais encore par Charistion, dans le livre des *Causes* dont Thâbit ibn Kurrah nous a laissé la restitution.

A côté de ces axiomes, tous également propres à fonder la théorie du levier, il convient d'en citer un quatrième, que nous nommerons l'AXIOME DU Κανὼν. Cet axiome peut s'énoncer ainsi : *Un cylindre pesant dont l'axe se confond avec une partie d'un bras de levier équivant à un corps de même poids, pendu au milieu de la partie du bras de levier que ce cylindre recouvre.*

Cet axiome a été employé par Stevin et par Galilée pour établir la théorie du levier, mais on savait depuis longtemps qu'il était propre à cet usage. Lagrange remarque (1) qu' " Archimède avait déjà employé une considération semblable pour déterminer le centre de gravité d'une grandeur composée de deux surfaces paraboliques, dans la première proposition du second Livre de l' Équilibre des plans ". De notre côté, nous avons trouvé une démonstration de la loi du levier, très rigoureusement déduite de l'axiome du Κανὼν, dans un manuscrit du XIIIe siècle (2), qui, nous l'avons dit, nous paraît être d'origine Alexandrine, comme le Traité des poids spécifiques, faussement attribué à Archimède, auquel il est joint.

Les quatre axiomes dont nous venons de rappeler les énoncés semblent donc avoir tous quatre servi, dès l'Antiquité, à établir la loi d'équilibre du levier ; de plus, il semble que leur exacte équivalence, la possibilité de tirer trois quelconques d'entr'eux du quatrième, ait été communément aperçue. Les *Causes* de Charistion, par exemple, telles que Thâbit ibn Kurrah les reconstitue, prennent pour point de départ l'*axiome d'Aristote* et se proposent d'en tirer l'*axiome d'Archimède*, puis l'*axiome du* Κανὼν. Le fragment, formé de quatre propositions et attribué à Euclide, que nous avons analysé au Chapitre V, § 1, semble avoir pour principal objet de démontrer l'*axiome d'Aristote*,

(1) Lagrange, *Mécanique Analytique*, Première Partie, Section I, art. I.
(2) *Vide supra*, p. 287.

l'*axiome d'Archimède* et l'*axiome du* Κανών ; ces trois axiomes. en effet, concident respectivement avec les propositions que nous avons nommées A, C et D. L'auteur, pour justifier ces axiomes, suppose connue la loi de l'équilibre du levier, qu'il déduisait donc d'un quatrième axiome, vraisemblablement l'*axiome d'Euclide.*

C'est également pour justifier l'*axiome d'Archimède* et, par son intermédiaire, l'*axiome du* Κανών que Jordanus paraît avoir composé des *Elementa super demonstrationem ponderis ;* mais, pour justifier la loi du levier, il fait implicitement appel à un axiome tout nouveau que l'on peut formuler ainsi : *Ce qui peut élever un certain poids à une certaine hauteur peut aussi élever un poids* K *fois plus grand à une hauteur* K *fois plus petite.*

De cet AXIOME DE JORDANUS, nous ne trouvons aucune trace dans les écrits mécaniques que nous a légués l'Antiquité ; il paraît être un produit spontané de la science occidentale ; sur les axiomes invoqués par les mécaniciens grecs ou arabes, il présente un avantage signalé : son extrême généralité. Jordanus, il est vrai, ne l'a appliqué qu'à la théorie du levier droit ; mais son élève anonyme, que nous avons appelé le Précurseur de Léonard, en a tiré les lois du levier coudé et du plan incliné ; Léonard de Vinci, Cardan et Salomon de Caus en ont signalé l'importance pour la Mécanique industrielle ; Roberval s'en est servi pour justifier la règle de composition des forces concourantes ; Descartes, enfin, a proposé de le prendre pour fondement de la Statique tout entière.

TABLE DES MATIÈRES DU TOME I.

PAGES

PRÉFACE. 1

CHAPITRE I. ARISTOTE ET ARCHIMÈDE (384-322 et 287-212 av. J. C.). 5

CHAPITRE II. LÉONARD DE VINCI (1451-1519). 13

CHAPITRE III. JÉROME CARDAN (1501-1576) 34

CHAPITRE IV. L'IMPOSIBILITÉ DU MOUVEMENT PERPÉTUEL . 52

CHAPITRE V. LES SOURCES ALEXANDRINES DE LA STATIQUE DU MOYEN AGE 61

1. Les écrits attribués à Euclide 62
2. Le *Liber Charastonis* publié par Thâbit ibn Kurrah . 79
3. Le traité *De Canonio*. 93

CHAPTIRE VI. LA STATIQUE DU MOYEN AGE. JORDANUS DE NEMORE 98

1. Que savons-nous de Jordanus de Nemore ? 99
2. Quelques passages des Μηχανικὰ προβλήματα d'Aristote 108
3. Les *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis* 112

CHAPITRE VII. LA STATIQUE DU MOYEN AGE (suite). L'ÉCOLE DE JORDANUS 124

1. La formation du *Liber Euclidis de ponderibus*. . . 124
2. La transformation péripatéticienne des *Elementa Jordani* 128
3. Le Précurseur de Léonard de Vinci. Découverte la notion de moment. Solution du problème du plan incliné 134
4. Le *Traité des poids* selon maître Blaise de Parme. . 147

CHAPITRE VIII. LA STATIQUE DU MOYEN AGE ET LÉONARD DE VINCI 156

1. L'École de Jordanus, le traité de Blaise de Parme et la Statique de Léonard de Vinci 156
2. La composition des forces 170
3. Le problème du plan incliné 182

PAGES.

CHAPITRE IX. L'ÉCOLE DE JORDANUS AU XVIe SIÈCLE. NICOLO TARTAGLIA. 194
1. Nicolo Tartaglia ou Tartalea 194
2. Jérôme Cardan. — Alexandre Piccolomini 205
CHAPITRE X. LA RÉACTION CONTRE JORDANUS. GUIDO-UBALDO — BENEDETTI 209
1. Guido Ubaldo, marquis del Monte (1545-1607) . . . 209
2. Giovanni Battista Benedetti (1530-1590) 226
CHAPITRE XI. GALILEO GALILEI (1564-1642) 236
CHAPITRE XII. SIMON STEVIN (1548-1620) 263
CHAPITRE XIII. LA STATIQUE FRANÇAISE — ROBERVAL . 290
1. Salomon de Caus. Les premiers écrits du P. Mersenne. Le *Cours mathématique* de Pierre Herigone. . . . 290
2. Gilles Persone de Roberval 311
CHAPITRE XIV. LA STATIQUE FRANÇAISE (suite). — RENÉ DESCARTES (1596-1650) 327
NOTE A. *Sur l'identité de Charistion et d'Hériston* . . . 352
NOTE B. *Jordanus de Nemore et Roger Bacon* 354
NOTE C. *Sur les divers axiomes d'où se peut déduire la théorie du levier* 356
TABLE DES MATIÈRES du tome I 359

QA 802 .D69 C.1
... Les origines de la statiqu
Stanford University Libraries
3 6105 030 428 838